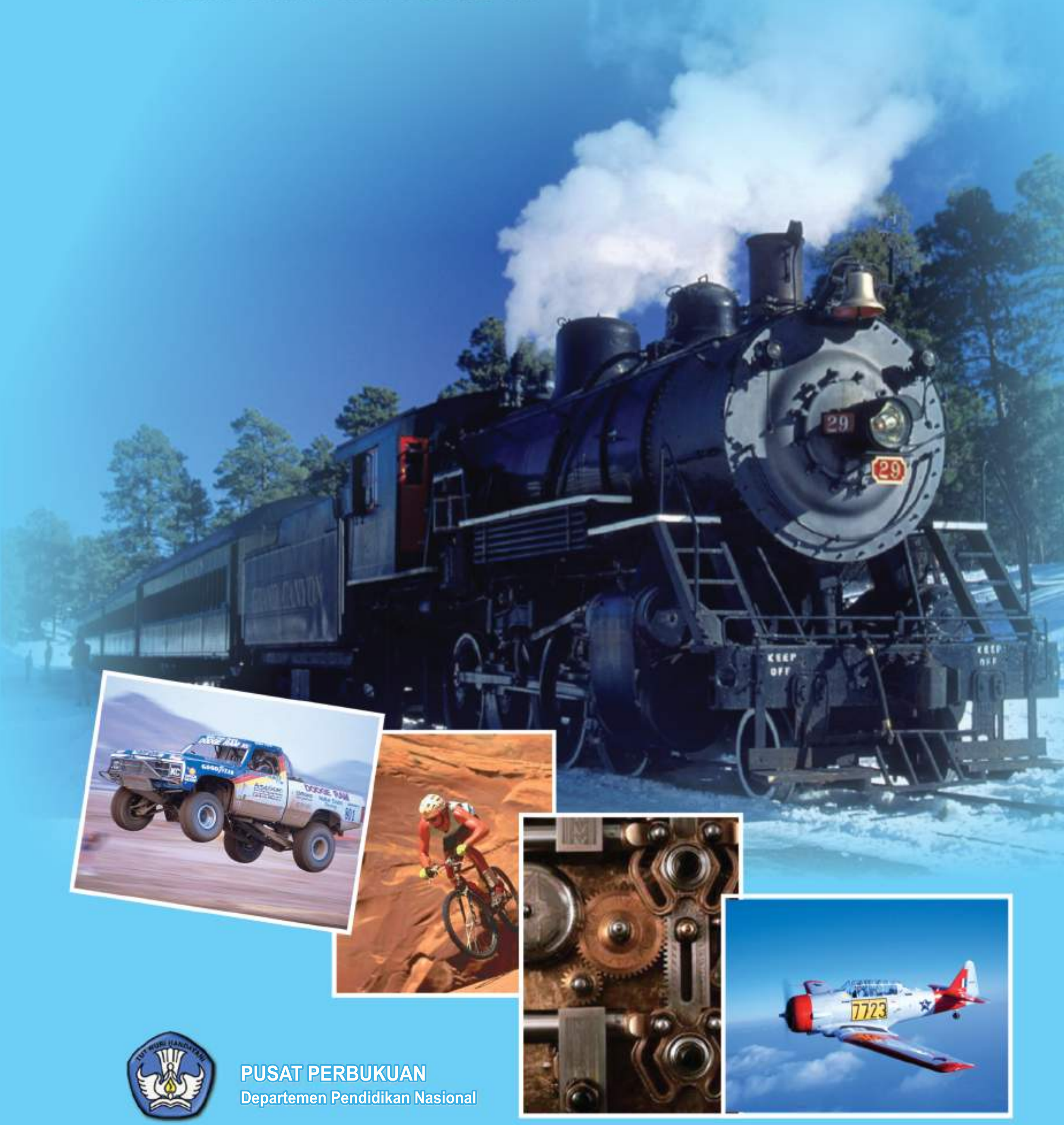
Setya Nurachmandani

FISIKA 1

Untuk SMA/MA Kelas X



PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

Untuk SMA/MA Kelas X
FISIKA 1
Setya Nurachmandani

SETYA NURACHMANDANI



FISIKA 1

UNTUK SMA/MA KELAS X



PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

Fisika 1
Untuk SMA/MA Kelas X
Setya Nurachmandani

Editor	:	Budi Wahyono
Tata letak	:	Desey, Rina, Taufiq, Topo
Tata grafis	:	Cahyo Muryono
Ilustrator	:	Haryana Humardani
Sampul	:	Tim Desain

530.07
Set Setya Nurachmandani
f Fisika 1 : Untuk SMA/MA Kelas X / Setya Nurachmandani ; Editor Budi Wahyono ; Ilustrator Haryana Humardani. — Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, 2009.
vii, 258 hlm. : ilus. : 25 cm.

Bibliografi : hlm. 245-246
Indeks
ISBN 978-979-068-166-8 (no jld lengkap)
ISBN 978-979-068-168-2

1.Fisika-Studi dan Pengajaran 2. Wahyono, Budi
3. Humardani, Haryana 4. Judul

Diterbitkan oleh Pusat Perbukuan
Departemen Pendidkan Nasional
Tahun 2009

Diperbanyak oleh ....

Kata Sambutan

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 2008, telah membeli hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis/ penerbit untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui situs internet (*website*) Jaringan Pendidikan Nasional.

Buku teks pelajaran ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan dan telah ditetapkan sebagai buku teks pelajaran yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 Tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para penulis/penerbit yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para siswa dan guru di seluruh Indonesia.

Buku-buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*down load*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun, untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Diharapkan bahwa buku teks pelajaran ini akan lebih mudah diakses sehingga siswa dan guru di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri dapat memanfaatkan sumber belajar ini.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para siswa kami ucapkan selamat belajar dan manfaatkanlah buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, Februari 2009
Kepala Pusat Perbukuan

Kata Pengantar

Segala puji penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas semua karunia yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan buku pelajaran Fisika untuk SMA/MA ini sesuai rencana. Buku ini merupakan wujud partisipasi penulis dalam rangka mencerdaskan kehidupan bangsa.

Mengapa Anda harus belajar fisika? Belajar fisika bukan berarti harus menjadi seorang fisikawan atau peneliti. Apapun profesi yang Anda impikan, fisika merupakan ilmu dasar yang wajib Anda kuasai. Misalnya, Anda ingin menjadi dokter, psikolog, atau politikus. Seorang dokter harus mengetahui dasar-dasar fisika, sebab banyak peralatan medis terkini yang prinsip kerjanya berdasarkan ilmu fisika. Untuk psikolog atau politikus, ilmu fisika akan memberikan nilai le-bih karena ilmu fisika bisa menyelesaikan pertanyaan-pertanyaan yang kelihatan sederhana tapi sulit. Seperti mengapa langit berwarna biru, mengapa setelah hujan kadang ada pelangi, dan mengapa terjadi gerhana bulan.

"Sesuatu yang sulit menjadi mudah", merupakan moto penulisan buku ini. Masih banyak diantara Anda yang menganggap fisika sebagai momok. Fisika dimitoskan sebagai pelajaran penuh hantu, sulit, dan susah dipahami. Oleh kare-na itu, penulis bertekad untuk mengemas buku ini agar mudah untuk dipelajari dan mengasyikkan. Penulis menyajikan buku dengan menggunakan bahasa yang sederhana dan komunikatif. Ini penting, agar Anda mudah mengikuti alur konsep yang harus dikuasai, tidak merasa digurui, dan tidak menjenuhkan.

"Berkembang sesuai kecerdasan masing-masing siswa". Ini adalah moto kedua dari penulisan buku ini. Penulis berharap dengan menggunakan buku ini Anda dapat berkembang sesuai tingkat kecerdasan Anda. Karena pada kenyataannya tiap orang memiliki minat, bakat, dan kecerdasan yang berbeda. Buku ini menekankan pada proses belajar yang bermakna dan ketercapaian hasil belajar yang berupa kompetensi dasar yang harus Anda kuasai. Selain berisi informasi, buku ini juga diarahkan agar Anda mampu berpikir sistematis, metodis, kritis, dan aplikatif.

Penulis berharap buku ini dapat bermanfaat dalam pembelajaran fisika. Kritik dan saran dari guru dan siswa pemakai sangat penulis harapkan guna perbaikan buku ini pada edisi mendatang. Selamat belajar, semoga sukses.

Surakarta, Juli 2007

Penulis

Daftar Isi

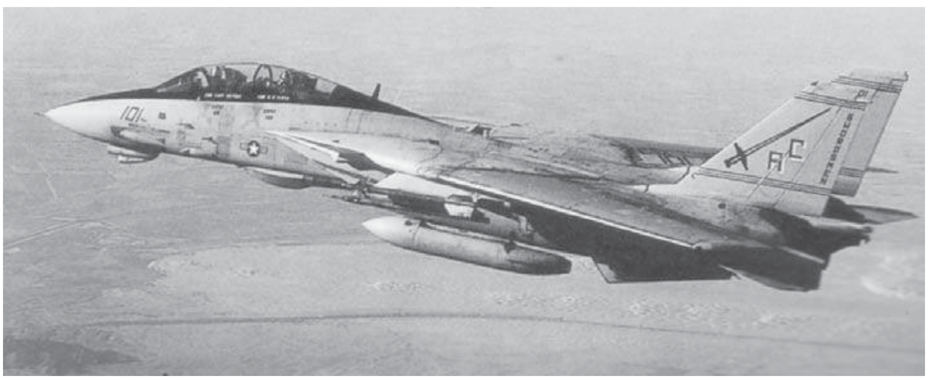


Bab I

Pengukuran

Tujuan Pembelajaran

- *Anda dapat mengukur besaran panjang, massa, dan waktu, serta dapat melakukan penjumlahan vektor.*



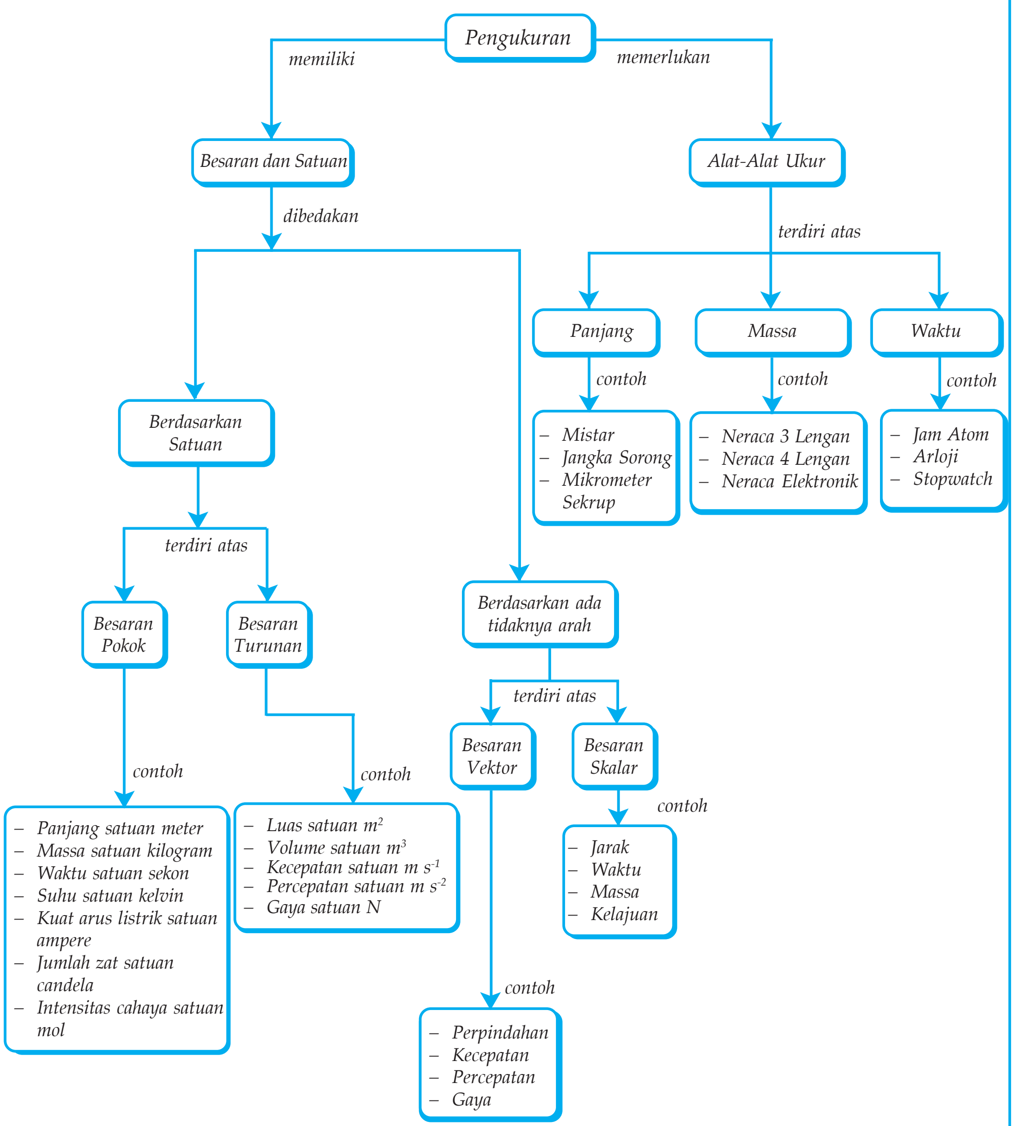
Sumber: AO Calender

Untuk dapat membuat pesawat tempur canggih, dibutuhkan pengukuran dengan akurasi dan tingkat presisi yang tinggi. Kesalahan pengukuran sedikit saja dalam pembuatannya, dapat berakibat fatal pada fungsinya dan bisa mengakibatkan bencana. Pernahkah Anda mendengar berita tentang kecelakaan pesawat karena kesalahan pengukuran?

Kata Kunci

- Angka Penting
- Besaran Pokok
- Besaran Skalar
- Besaran Turunan
- Besaran Vektor
- Fisika
- Kesalahan Acak
- Kesalahan Sistematis
- Ketelitian
- Ketepatan
- Metode Analitis
- Metode Grafis
- Metode Poligon
- Pengukuran
- Satuan Dimensi
- Vektor Resultan
- Metode Jajargenjang
- Pengukuran Berulang

Peta Konsep



Pengukuran
memiliki
memerlukan
Besaran dan Satuan
Alat-Alat Ukur
dibedakan
terdiri atas
Panjang
Massa
Waktu
contoh
contoh
contoh
– Mistar
– Jangka Sorong
– Mikrometer Sekrup
– Neraca 3 Lengan
– Neraca 4 Lengan
– Neraca Elektronik
– Jam Atom
– Arloji
– Stopwatch
Berdasarkan Satuan
terdiri atas
Besaran Pokok
Besaran Turunan
Berdasarkan ada tidaknya arah
terdiri atas
Besaran Vektor
Besaran Skalar
contoh
contoh
contoh
– Panjang satuan meter
– Massa satuan kilogram
– Waktu satuan sekon
– Suhu satuan kelvin
– Kuat arus listrik satuan ampere
– Jumlah zat satuan candela
– Intensitas cahaya satuan mol
– Luas satuan m^2
– Volume satuan m^3
– Kecepatan satuan $m\ s^{-1}$
– Percepatan satuan $m\ s^{-2}$
– Gaya satuan N
– Jarak
– Waktu
– Massa
– Kelajuan
contoh
– Perpindahan
– Kecepatan
– Percepatan
– Gaya

Dewasa ini, kemajuan teknologi berkembang dengan sangat cepat yang membuat hidup manusia makin mudah dan bermakna. Ilmu pengetahuan alam memiliki peran yang dominan dalam memengaruhi perkembangan teknologi. Fisika merupakan ilmu yang mempelajari fenomena atau gejala-gejala alam dan interaksi di dalamnya, adalah salah satu cabang ilmu pengetahuan alam.

Di SMP kelas VII, Anda sudah mempelajari besaran beserta satuannya dan pengukuran. Pengukuran merupakan materi dasar yang harus dipahami oleh tiap orang yang akan belajar fisika, dengan menguasainya akan memudahkan dalam memahami konsep-konsep selanjutnya. Pada bab ini, Anda akan memperdalam pengetahuanmu mengenai pengukuran.

Kolom Diskusi

Diskusikan bersama teman sebangku Anda mengenai besaran dan satuan. Bahas mengenai dasar penetapan, jenis, dan kegunaannya, dengan mengingat materi yang telah Anda dapatkan di SMP. Buatlah kesimpulan dan kumpulkan di meja guru Anda!

A. Besaran dan Satuan

Besaran dalam fisika diartikan sebagai sesuatu yang dapat diukur, serta memiliki nilai besaran (besar) dan satuan. Sedangkan satuan adalah sesuatu yang dapat digunakan sebagai pembanding dalam pengukuran. *Satuan Internasional* (SI) merupakan satuan hasil konferensi para ilmuwan di Paris, yang membahas tentang berat dan ukuran. Berdasarkan satuannya besaran dibedakan menjadi dua, yaitu besaran pokok dan besaran turunan. Selain itu, berdasarkan ada tidaknya arah, besaran juga dikelompokkan menjadi dua, yaitu besaran skalar dan besaran vektor (akan dibahas khusus pada subbab E).

1. Besaran Pokok

Besaran pokok adalah besaran yang digunakan sebagai dasar untuk menetapkan besaran yang lain. Satuan besaran pokok disebut satuan pokok dan telah ditetapkan terlebih dahulu berdasarkan kesepakatan para ilmuwan. Besaran pokok bersifat bebas, artinya tidak bergantung pada besaran pokok yang lain. Pada Tabel 1.1 berikut, disajikan besaran pokok yang telah disepakati oleh para ilmuwan.

Tabel 1.1 Besaran-Besaran Pokok dan Satuan Internasionalnya (SI)

No	Nama Besaran Pokok	Lambang Besaran Pokok	Satuan	Lambang Satuan
1.	Panjang	l	Meter	m
2.	Massa	m	Kilogram	kg
3.	Waktu	t	Sekon	s
4.	Kuat arus listrik	I	Ampere	A
5.	Suhu	t	Kelvin	K
6.	Intensitas cahaya	I	Kandela	cd
7.	Jumlah zat	n	Mole	Mol
8.	Sudut bidang datar	θ	Radian	Rad *)
9.	Sudut ruang	ϕ	Steradian	Sr *)

Catatan: **) besaran pokok tambahan*

2. Besaran Turunan

Besaran turunan adalah besaran yang dapat diturunkan dari besaran pokok. Satuan besaran turunan disebut satuan turunan dan diperoleh dengan mengabungkan beberapa satuan besaran pokok. Berikut merupakan beberapa contoh besaran turunan beserta satuannya.

Tabel 1.2 Contoh Beberapa Besaran Turunan dan Satuannya

No	Nama Besaran Turunan	Lambang Besaran Turunan	Satuan Turunan
1.	Luas	A	m^2
2.	Kecepatan	v	ms^{-1}
3.	Percepatan	a	ms^{-2}
4.	Gaya	F	$kg\ ms^{-2}$
5.	Tekanan	P	$kg\ m^{-1}s^{-2}$
6.	Usaha	W	$kg\ m^2s^{-2}$

Soal Kompetensi 1.1

1. Apakah perbedaan besaran pokok dan besaran turunan? Jelaskan!
2. Sebutkan besaran pokok dan turunan yang sering Anda temui dalam kehidupan sehari-hari!
3. Sebutkan satuan tidak baku yang masih digunakan di sekitarmu dan jelaskan alasan satuan tersebut masih digunakan!
4. Sebutkan 3 sistem SI dari besaran pokok yang sering Anda jumpai!

B. Dimensi

Dimensi suatu besaran adalah cara besaran tersebut tersusun atas besaran-besaran pokoknya. Pada sistem Satuan Internasional (SI), ada tujuh besaran pokok yang berdimensi, sedangkan dua besaran pokok tambahan tidak berdimensi. Cara penulisan dimensi dari suatu besaran dinyatakan dengan lambang huruf tertentu dan diberi tanda kurung persegi. Untuk lebih jelasnya, perhatikan Tabel 1.3 berikut!

Tabel 1.3 Besaran Pokok dan Dimensinya

No	Nama Besaran Pokok	Satuan	Lambang Satuan	Dimensi
1.	Panjang	Meter	m	[L]
2.	Massa	Kilogram	kg	[M]
3.	Waktu	Sekon	s	[T]
4.	Kuat arus listrik	Ampere	A	[I]
5.	Suhu	Kelvin	K	[θ]
6.	Intensitas cahaya	Kandela	cd	[J]
7.	Jumlah zat	Mole	Mol	[N]
8.	Sudut bidang datar	Radian	Rad *)	-
9.	Sudut ruang	Steradian	Sr *)	-

Berdasarkan Tabel 1.3, Anda dapat mencari dimensi suatu besaran yang lain dengan cara mengerjakan seperti pada perhitungan biasa. Untuk penulisan perkalian pada dimensi, biasa ditulis dengan tanda pangkat positif dan untuk pembagian biasa ditulis dengan tanda pangkat negatif.

Contoh 1.1

Tentukan dimensi besaran-besaran berikut!

a. Luas
b. Volume
c. Kecepatan
d. Percepatan
e. Gaya
f. Usaha

Jawab:

a. Luas (L) = panjang × lebar = [L] × [L] = $[L]^2$
b. Volume (V) = panjang × lebar × tinggi = [L] × [L] × [L] = $[L]^3$

c. Kecepatan (v) $= \dfrac{\text{perpindahan}}{\text{waktu}} = \dfrac{[L]}{[T]} = [L][T]^{-1}$

d. Percepatan (a) $= \dfrac{\text{kecepatan}}{\text{waktu}} = \dfrac{[L][T]^{-1}}{[T]} = [L][T]^{-2}$

e.	Gaya (F)	= massa × percepatan	= [M] × [L][T]$^{-2}$
f.	Usaha (W)	= gaya × perpindahan	= [M] × [L][T]$^{-2}$ × [L]
			= [M] × [L]^2 [T]$^{-2}$

Dimensi mempunyai dua kegunaan, yaitu untuk menentukan satuan dari suatu besaran turunan dengan cara analisis dimensional dan menunjukkan kesetaraan beberapa besaran yang sepintas tampak berbeda.

1. Analisis Dimensional

Analisis dimensional adalah suatu cara untuk menentukan satuan dari suatu besaran turunan, dengan cara memerhatikan dimensi besaran tersebut.

Contoh 1.2

Jika G merupakan suatu konstanta dari persamaan gaya tarik menarik antara dua benda yang bermassa m_1 dan m_2, serta terpisah jarak sejauh r ($F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$), maka tentukan dimensi dan satuan G!

Diketahui : Persamaannya adalah $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$

Dimensi (gaya) F = [M] × [L][T]$^{-2}$ (lihat Contoh 1.1)

Dimensi (massa) m = [M] (lihat Tabel 1.3)

Dimensi (jarak) r = [L] (lihat Tabel 1.3)

Ditanyakan : a. Dimensi G = ...?

b. Satuan G = ...?

Jawab :

a. $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2} \Rightarrow G = \frac{Fr^2}{m_1 m_2}$, maka dimensinya adalah

$$G = \frac{\text{gaya} \times (\text{jarak})^2}{\text{massa} \times \text{massa}}$$

$$= \frac{[M] \times [L][T]^{-2}[L]^2}{[M] \times [M]}$$

$$= \frac{[L]^3[T]^{-2}}{[M]}$$

$$= [M]^{-1} [L]^3 [T]^{-2}$$

Jadi, dimensi konstanta G adalah [M]$^{-1}$ [L]^3 [T]$^{-2}$.

b. Karena dimensi G = $[M]^{-1}$ $[L]^3$ $[T]^{-2}$, maka satuannya adalah

G = $[M]^{-1}$ $[L]^3$ $[T]^{-2}$

= kg^{-1} m^3 s^{-2}

Jadi, satuan konstanta G adalah kg^{-1} m^3 s^{-2}.

2. Menunjukkan Kesetaraan Beberapa Besaran

Selain digunakan untuk mencari satuan, dimensi juga dapat digunakan untuk menunjukkan kesetaraan beberapa besaran yang terlihat berbeda.

Contoh 1.3

Buktikan bahwa besaran usaha (W) memiliki kesetaraan dengan besaran energi kinetik (Ek)!

Diketahui : Dimensi usaha (W)= $[M]$ $[L]^2$ $[T]^{-2}$ (lihat Contoh 1.1)

Persamaan energi kinetik $Ek = \frac{1}{2} mv^2$

Ditanyakan : Bukti kesetaraannya?

Jawab :

Dimensi usaha (W) = $[M]$ $[L]^2$ $[T]^{-2}$

Angka setengah pada persamaan energi kinetik merupakan bilangan tak berdimensi, sehingga dimensi energi kinetik menjadi sebagai berikut.

Dimensi energi kinetik (Ek) = mv^2

= massa × (kecepatan)^2

= $[M] \times \{[L]\,[T]^{-1}\}^2$

= $[M]$ $[L]^2$ $[T]^{-2}$

Jadi, karena nilai dimensi usaha (W) dan energi kinetik (Ek) sama, maka hal ini menunjukkan bahwa besaran usaha memiliki kesetaraan dengan besaran energi kinetik.

Soal Kompetensi 1.2

1. Tulislah kembali pengertian dimensi dan fungsinya dengan menggunakan bahasa Anda sendiri!
2. Besarnya massa jenis suatu benda yang memiliki massa m dan luas alasnya A, dinyatakan dengan persamaan $\rho = \frac{m \times g}{A}$. Jika g suatu konstanta, maka tentukan dimensi dan satuannya!

C. Instrumen Pengukuran

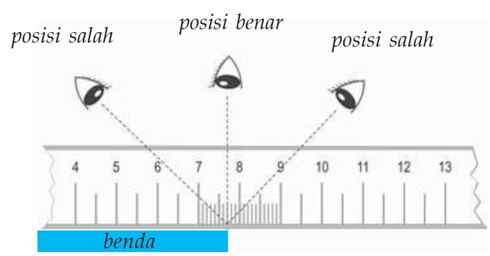
Sejak jaman dahulu orang telah melakukan pengukuran, seperti mengukur luas tanah, mengukur massa badannya, dan mengukur selang waktu antara matahari terbit sampai tenggelam. Di SMP Anda telah mengetahui definisi mengukur, yaitu proses membandingkan suatu besaran yang diukur dengan besaran tertentu yang telah diketahui atau ditetapkan sebagai acuan.

Pada pengukuran yang berbeda Anda mungkin membutuhkan alat/ instrumen yang berbeda pula. Misalnya, saat mengukur panjang jalan Anda menggunakan meteran, tetapi saat menimbang berat badan Anda menggunakan neraca. Berikut akan Anda pelajari instrumen pengukur panjang, massa, dan waktu.

1. Alat Ukur Panjang

Penggaris/mistar, jangka sorong, dan mikrometer sekrup merupakan contoh alat ukur panjang. Setiap alat ukur memiliki ketelitian yang berbeda, sehingga Anda harus bisa memilih alat ukur yang tepat untuk sebuah pengukuran. Pemilihan alat ukur yang kurang tepat akan menyebabkan kesalahan pada hasil pengukuran.

a. Mistar



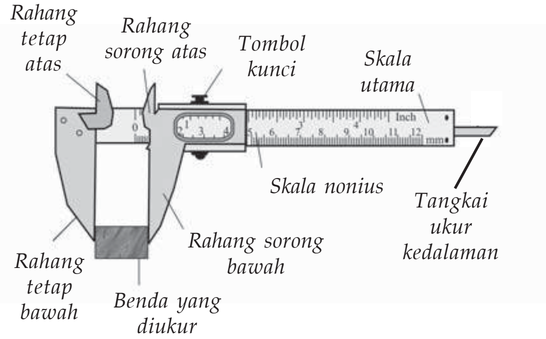
Gambar 1.1 *Cara membaca yang tepat akan mendapatkan hasil pengukuran yang akurat.*

Alat ukur panjang yang sering Anda gunakan adalah mistar atau penggaris. Pada umumnya, mistar memiliki skala terkecil 1 mm atau 0,1 cm. Mistar mempunyai ketelitian pengukuran 0,5 mm, yaitu sebesar setengah dari skala terkecil yang dimiliki oleh mistar. Pada saat melakukan pengukuran dengan menggunakan mistar, arah pandangan hendaknya tepat pada tempat yang diukur. Artinya, arah pandangan harus tegak lurus dengan skala pada mistar dan benda yang di ukur. Jika pandangan mata tertuju pada arah yang kurang tepat, maka akan menyebabkan nilai hasil pengukuran menjadi lebih besar atau lebih kecil. Kesalahan pengukuran semacam ini di sebut *kesalahan paralaks*.

b. Jangka Sorong

Jangka sorong terdiri atas dua bagian, yaitu rahang tetap dan rahang geser. Skala panjang yang terdapat pada rahang tetap merupakan *skala utama,* sedangkan skala pendek yang terdapat pada rahang geser merupakan *skala nonius* atau *vernier.* Nama vernier diambilkan dari nama penemu jangka sorong, yaitu Pierre Vernier, seorang ahli teknik berkebangsaan Prancis.

Skala utama pada jangka sorong memiliki skala dalam cm dan mm. Sedangkan skala nonius pada jangka sorong memiliki panjang 9 mm dan di bagi dalam 10 skala, sehingga beda satu skala nonius dengan satu skala pada skala utama adalah 0,1 mm atau 0,01 cm. Jadi, skala terkecil pada jangka sorong adalah 0,1 mm atau 0,01 cm.



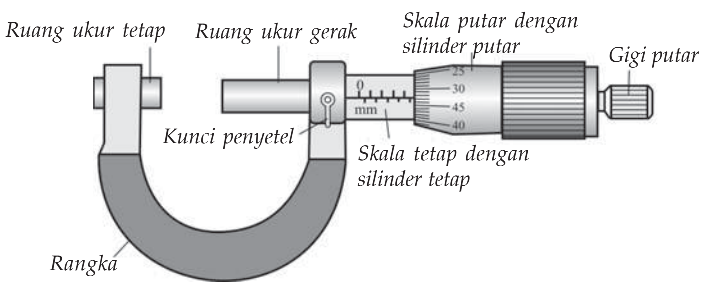
Gambar 1.2 Jangka sorong dan bagian-bagiannya.

Jangka sorong tepat digunakan untuk mengukur diameter luar, diameter dalam, kedalaman tabung, dan panjang benda sampai nilai 10 cm. Untuk lebih memahami tentang tentang jangka sorong, perhatikan Gambar 1.2.

c. Mikrometer Sekrup

Mikrometer sekrup sering digunakan untuk mengukur tebal benda-benda tipis dan mengukur diameter benda-benda bulat yang kecil seperti tebal kertas dan diameter kawat. Mikrometer sekrup terdiri atas dua bagian, yaitu poros tetap dan poros ulir. Skala panjang yang terdapat pada poros tetap merupakan *skala utama*, sedangkan skala panjang yang terdapat pada poros ulir merupakan *skala nonius*.

Skala utama mikrometer sekrup mempunyai skala dalam mm, sedangkan skala noniusnya terbagi dalam 50 bagian. Satu bagian pada skala nonius mempunyai nilai 1/50 × 0,5 mm atau 0,01 mm. Jadi, mikrometer sekrup mempunyai tingkat ketelitian paling tinggi dari kedua alat yang telah disebutkan sebelumnya, yaitu 0,01 mm. Perhatikan gambar berikut!



Gambar 1.3 Mikrometer sekrup dan bagian-bagiannya.

Kolom Ilmuwan 1.1

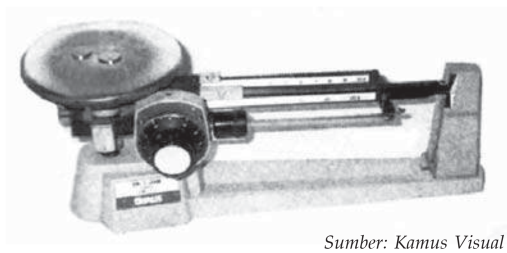
Di SMP Anda telah mempelajari tentang jangka sorong dan mikrometer sekrup. Sekarang buatlah tulisan mengenai cara-cara menggunakan jangka sorong dan mikrometer sekrup di buku tugas

beserta contoh-contohnya. Demonstrasikan cara penggunaan jangka sorong dan mikrometer sekrup yang telah Anda tulis di depan teman-teman Anda. Apakah teman-teman Anda setuju dengan cara Anda menggunakan jangka sorong dan mikrometer sekrup? Jika ada diantara teman Anda yang tidak setuju, maka mintalah dia untuk mendemonstrasikan cara-cara penggunaan jangka sorong dan mikrometer sekrup versi dia!

2. Alat Ukur Massa

Massa benda menyatakan banyaknya zat yang terdapat dalam suatu benda. Massa tiap benda selalu sama dimana pun benda tersebut berada. Satuan SI untuk massa adalah kilogram (kg).

Alat untuk mengukur massa disebut *neraca*. Ada beberapa jenis neraca, antara lain, neraca ohauss, neraca lengan, neraca langkan, neraca pasar, neraca tekan, neraca badan, dan neraca elektronik. Setiap neraca memiliki spesifikasi penggunaan yang berbeda-beda. Jenis neraca yang umum ada di sekolah Anda adalah neraca tiga lengan dan empat lengan.



Sumber: Kamus Visual

Gambar 1.4 *Neraca tiga lengan.*

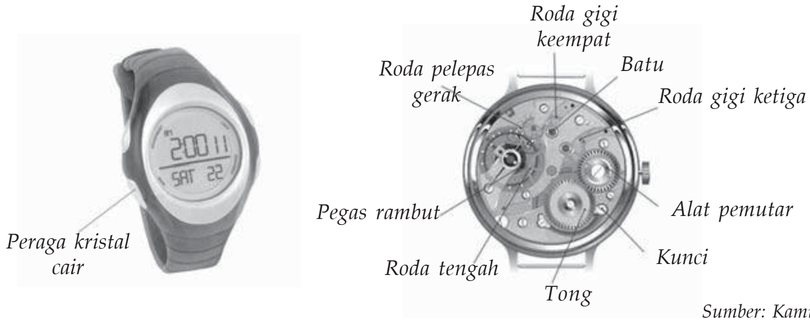
Pada neraca tiga lengan, lengan paling depan memuat angka satuan dan sepersepuluhan, lengan tengah memuat angka puluhan, dan lengan paling belakang memuat angka ratusan. Cara menimbang dengan menggunakan neraca tiga lengan adalah sebagai berikut.

a. Posisikan skala neraca pada posisi nol dengan menggeser penunjuk pada lengan depan dan belakang ke sisi kiri dan lingkaran skala diarahkan pada angka nol!
b. Periksa bahwa neraca pada posisi setimbang!
c. Letakkan benda yang akan diukur di tempat yang tersedia pada neraca!
d. Geser ketiga penunjuk diurutkan dari penunjuk yang terdapat pada ratusan, puluhan, dan satuan sehingga tercapai keadaan setimbang!
e. Bacalah massa benda dengan menjumlah nilai yang ditunjukkan oleh penunjuk ratusan, puluhan, satuan, dan sepersepuluhan!

3. Alat Ukur Waktu

Standar satuan waktu adalah sekon atau detik (dalam buku ini akan digunakan sekon). Alat yang digunakan untuk mengukur waktu biasanya adalah jam atau arloji. Untuk megukur selang waktu yang pendek di

gunakan *stopwatch. Stopwatch* memiliki tingkat ketelitian sampai 0,01 detik. Alat ukur yang paling tepat adalah jam atom. Jam ini hanya digunakan oleh para ilmuwan di laboratorium.



Gambar 1.5 *Arloji dan bagian-bagiannya.*

Arloji ada dua jenis, yaitu arloji mekanis dan arloji digital. Jarum arloji mekanis digerakkan oleh gerigi mekanis yang selalu berputar, sedangkan arloji digital berdasarkan banyaknya getaran yang dilakukan oleh sebuah kristal kuarsa yang sangat kecil. Arloji akan bekerja sepanjang sumber energinya masih ada. Ketelitian arloji adalah 1 sekon. Kelemahan arloji mekanis maupun digital adalah selalu bergerak sehingga sulit dibaca secara teliti.

Waktu yang terbaca pada arloji mekanis ditunjukkan oleh kerja ketiga jarum, yaitu jarum jam, jarum menit, dan jarum detik. Jarum jam bergerak satu skala tiap satu jam, jarum menit bergerak satu skala tiap satu menit, jarum detik bergerak satu skala tiap satu detik. Cara membaca untuk arloji digital sangat mudah sebab angka yang ditampilkan pada arloji sudah menunjukkan waktunya.

Kolom Ilmuwan 1.2

Salah satu alat ukur waktu kuno adalah jam matahari. Jam matahari yang berukuran besar dan dapat berfungsi dengan baik sampai sekarang terdapat di museum IPTEK Bandung. Bentuklah kelompok yang terdiri atas 5 sampai 8 orang. Buatlah bersama anggota kelompok Anda sebuah jam matahari sederhana yang dapat berfungsi! Jelaskan kelebihan-kelebihan jam matahari buatan kelompok Anda di depan kelas, jika perlu tunjukkan cara kerjanya!

D. Ketidakpastian Pengukuran

Saat melakukan pengukuran mengunakan alat, tidaklah mungkin Anda mendapatkan nilai yang pasti benar (x_o), melainkan selalu terdapat ketidakpastian. Apakah penyebab ketidakpastian pada hasil pengukuran?

Secara umum penyebab ketidakpastian hasil pengukuran ada tiga, yaitu kesalahan umum, kesalahan sistematik, dan kesalahan acak.

1. Kesalahan Umum

Kesalahan umum adalah kesalahan yang disebabkan keterbatasan pada pengamat saat melakukan pengukuran. Kesalahan ini dapat disebabkan karena kesalahan membaca skala kecil, dan kekurangterampilan dalam menyusun dan memakai alat, terutama untuk alat yang melibatkan banyak komponen.

2. Kesalahan Sistematik

Kesalahan sistematik merupakan kesalahan yang disebabkan oleh alat yang digunakan dan atau lingkungan di sekitar alat yang memengaruhi kinerja alat. Misalnya, kesalahan kalibrasi, kesalahan titik nol, kesalahan komponen alat atau kerusakan alat, kesalahan paralaks, perubahan suhu, dan kelembaban.

a. Kesalahan Kalibrasi

Kesalahan kalibrasi terjadi karena pemberian nilai skala pada saat pembuatan atau kalibrasi (standarisasi) tidak tepat. Hal ini mengakibatkan pembacaan hasil pengukuran menjadi lebih besar atau lebih kecil dari nilai sebenarnya. Kesalahan ini dapat diatasi dengan mengkalibrasi ulang alat menggunakan alat yang telah terstandarisasi.

b. Kesalahan Titik Nol

Kesalahan titik nol terjadi karena titik nol skala pada alat yang digunakan tidak tepat berhimpit dengan jarum penunjuk atau jarum penunjuk yang tidak bisa kembali tepat pada skala nol. Akibatnya, hasil pengukuran dapat mengalami penambahan atau pengurangan sesuai dengan selisih dari skala nol semestinya. Kesalahan titik nol dapat diatasi dengan melakukan koreksi pada penulisan hasil pengukuran

c. Kesalahan Komponen Alat

Kerusakan pada alat jelas sangat berpengaruh pada pembacaan alat ukur. Misalnya, pada neraca pegas. Jika pegas yang digunakan sudah lama dan aus, maka akan berpengaruh pada pengurangan konstanta pegas. Hal ini menjadikan jarum atau skala penunjuk tidak tepat pada angka nol yang membuat skala berikutnya bergeser.

d. Kesalahan Paralaks

Kesalahan paralaks terjadi bila ada jarak antara jarum penunjuk dengan garis-garis skala dan posisi mata pengamat tidak tegak lurus dengan jarum.

Kolom Ilmuwan 1.3

Carilah informasi di perpustakaan, majalah ilmiah, atau di internet tentang kondisi lingkungan sekitar yang dapat memengaruhi kinerja alat percobaan! Sebutkan kondisi-kondisi tersebut, jelaskan pengaruhnya, dan cara mengatasinya! Tulislah informasi yang Anda dapat dalam bentuk laporan dan kumpulkan di meja guru!

3. Kesalahan Acak

Kesalahan acak adalah kesalahaan yang terjadi karena adanya fluktuasi-fluktuasi halus pada saat melakukan pengukuran. Kesalahan ini dapat disebabkan karena adanya gerak brown molekul udara, fluktuasi tegangan listrik, landasan bergetar, bising, dan radiasi.

a. Gerak Brown Molekul Udara

Molekul udara seperti Anda ketahui keadaannya selalu bergerak secara tidak teratur atau rambang. Gerak ini dapat mengalami fluktuasi yang sangat cepat dan menyebabkan jarum penunjuk yang sangat halus seperti pada mikrogalvanometer terganggu karena tumbukan dengan molekul udara.

b. Fluktuasi Tegangan Listrik

Tegangan listrik PLN atau sumber tegangan lain seperti aki dan baterai selalu mengalami perubahan kecil yang tidak teratur dan cepat sehingga menghasilkan data pengukuran besaran listrik yang tidak konsisten.

c. Landasan yang Bergetar

Getaran pada landasan tempat alat berada dapat berakibat pembacaan skala yang berbeda, terutama alat yang sensitif terhadap gerak. Alat seperti seismograf butuh tempat yang stabil dan tidak bergetar. Jika landasannya bergetar, maka akan berpengaruh pada penunjukkan skala pada saat terjadi gempa bumi.

d. Bising

Bising merupakan gangguan yang selalu Anda jumpai pada alat elektronik. Gangguan ini dapat berupa fluktuasi yang cepat pada tegangan akibat dari komponen alat bersuhu.

e. Radiasi Latar Belakang

Radiasi gelombang elektromagnetik dari kosmos (luar angkasa) dapat mengganggu pembacaan dan menganggu operasional alat. Misalnya, ponsel tidak boleh digunakan di SPBU dan pesawat karena bisa mengganggu alat ukur dalam SPBU atau pesawat. Gangguan ini dikarenakan gelombang elektromagnetik pada telepon seluler dapat mengasilkan gelombang radiasi yang mengacaukan alat ukur pada SPBU atau pesawat.

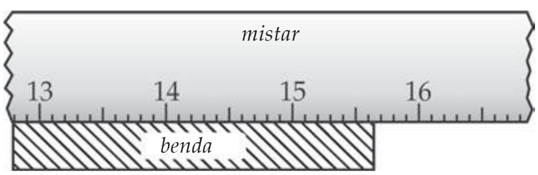
Adanya banyak faktor yang menyebabkan kemungkinan terjadinya kesalahan dalam suatu pengukuran, menjadikan Anda tidak mungkin mendapatkan hasil pengukuran yang tepat benar. Oleh karena itu, Anda harus menuliskan ketidakpastiannya setiap kali melaporkan hasil dari suatu pengukuran. Untuk menyatakan hasil ketidakpastian suatu pengukuran dapat menggunakan cara penulisan $x = (xo \pm \Delta x)$, dengan x merupakan nilai pendekatan hasil pengukuran terhadap nilai benar, xo merupakan nilai hasil pengukuran, dan Δx merupakan ketidakpastiannya (angka taksiran ketidakpastian).

Kegiatan 1.1

Untuk melaporkan suatu hasil pengukuran Anda terkadang membutuhkan juga pemahaman mengenai konversi satuan, angka penting, notasi ilmiah, dan aturan pembulatan. Buatlah sebuah tulisan yang membahas hal-hal tersebut. Anda dapat mencari informasi di perpustakaan, majalah, atau internet. Kumpulkan hasil tulisan Anda di meja guru!

Ketidakpastian pada Pengukuran Tunggal

Pengukuran tunggal merupakan pengukuran yang hanya dilakukan sekali saja. Pada pengukuran tunggal, nilai yang dijadikan pengganti nilai benar adalah hasil pengukuran itu sendiri. Sedangkan ketidakpastiannya diperoleh dari setengah nilai skala terkecil instrumen yang digunakan. Misalnya, Anda mengukur panjang sebuah benda menggunakan mistar. Perhatikan Gambar 1.6!



Gambar 1.6 Panjang suatu benda yang diukur dengan menggunakan mistar.

Pada Gambar 1.6 ujung benda terlihat pada tanda 15,6 cm lebih sedikit. Berapa nilai lebihnya? Ingat, skala terkecil mistar adalah 1 mm. Telah Anda sepakati bahwa ketidakpastian pada pengukuran tunggal merupakan setengah skala terkecil alat. Jadi, ketidakpastian pada pengukuran tersebut adalah sebagai berikut.

$$\Delta x = \frac{1}{2} \times 1 \text{ mm} = 0{,}5 \text{ mm} = 0{,}05 \text{ cm}$$

Karena nilai ketidakpastiannya memiliki dua desimal (0,05 mm), maka hasil pengukurannya pun harus Anda laporkan dalam dua desimal. Artinya, nilai x harus Anda laporkan dalam tiga angka. Angka ketiga yang Anda laporkan harus Anda taksir, tetapi taksirannya hanya boleh 0 atau 5. Karena ujung benda lebih sedikit dari 15,6 cm, maka nilai taksirannya adalah 5. Jadi, pengukuran benda menggunakan mistar tersebut dapat Anda laporkan sebagai berikut.

$$\text{Panjang benda} = l = x_0 \pm \Delta x$$
$$= (15{,}6 \pm 0{,}05) \text{ cm}$$

Arti dari laporan pengukuran tersebut adalah Anda tidak tahu nilai x (panjang benda) yang sebenarnya. Namun, setelah dilakukan pengukuran sebanyak satu kali Anda mendapatkan nilai 15,6 cm lebih sedikit atau antara 15,60 cm sampai 15,70 cm. Secara statistik ini berarti ada jaminan 100% bahwa panjang benda terdapat pada selang 15,60 cm sampai 15,7 cm atau $(15{,}60 \leq x \leq 15{,}70)$ cm.

Ketidakpastian pada Pengukuran Berulang

Agar mendapatkan hasil pengukuran yang akurat, Anda dapat melakukan pengukuran secara berulang. Lantas bagaimana cara melaporkan hasil pengukuran berulang? Pada pengukuran berulang Anda akan mendapatkan hasil pengukuran sebanyak N kali. Berdasarkan analisis statistik, nilai terbaik untuk menggantikan nilai benar x_0 adalah nilai rata-rata dari data yang diperoleh ($\bar{x}_0$). Sedangkan untuk nilai ketidakpastiannya (Δx) dapat digantikan oleh nilai simpangan baku nilai rata-rata sampel. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$x_0 = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_N}{N} = \frac{\sum x_i}{N}$$

$$\Delta x = \frac{1}{N}\sqrt{\frac{N\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{N-1}}$$

Keterangan:

x_0 : hasil pengukuran yang mendekati nilai benar

Δx : ketidakpastian pengukuran

N : banyaknya pengkuran yang dilakukan

Pada pengukuran tunggal nilai ketidakpastiannya (Δx) disebut ketidakpastian mutlak. Makin kecil ketidakpastian mutlak yang dicapai pada pengukuran tunggal, maka hasil pengukurannya pun makin mendekati

kebenaran. Nilai ketidakpastian tersebut juga menentukan banyaknya angka yang boleh disertakan pada laporan hasil pengukuran. Bagaimana cara menentukan banyaknya angka pada pengukuran berulang?

Cara menentukan banyaknya angka yang boleh disertakan pada pengukuran berulang adalah dengan mencari ketidakpastian relatif pengukuran berulang tersebut. Ketidakpastian relatif dapat ditentukan dengan membagi ketidakpastian pengukuran dengan nilai rata-rata pengukuran. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$\text{ketidakpastian relatif} = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

Setelah mengetahui ketidakpastian relatifnya, Anda dapat menggunakan aturan yang telah disepakati para ilmuwan untuk mencari banyaknya angka yang boleh disertakan dalam laporan hasil pengukuran berulang. Aturan banyaknya angka yang dapat dilaporkan dalam pengukuran berulang adalah sebagai berikut.

- ketidakpastian relatif 10% berhak atas dua angka
- ketidakpastian relatif 1% berhak atas tiga angka
- ketidakpastian relatif 0,1% berhak atas empat angka

Contoh 1.4

Suatu pengukuran berulang massa sebuah benda menghasilkan data sebagai berikut: 12,5 g; 12,3 g; 12,8 g; 12,4 g; 12,9 g; dan12,6 g. Laporkan hasil pengukuran berulang tersebut lengkap dengan ketidakpastiannya!

Jawab:

Sebaiknya Anda buat tabel hasil pengukuran seperti berikut.

Percobaan Ke-	x_i (gram)	x_i^2 (gram)
1.	12,3	151,29
2.	12,4	153,76
3.	12,5	156,25
4.	12,6	158,76
5.	12,8	163,84
6.	12,9	166,41
$\sum N = 6$	$\sum x_i = 75{,}50$	$\sum x_i^2 = 950{,}31$

Berdasarkan tabel Anda peroleh N = 6; $\sum x_i = 75{,}50$; dan $\sum x_i^2 = 950{,}31$.

Selanjutnya dapat Anda tentukan nilai mendekati benda, ketidakpastian, dan ketidakpastian relatifnya.

$$x_0 = \frac{\sum x^i}{N}$$

$$= \frac{75{,}50}{6}$$

$$= 12{,}5833 \text{ g}$$

$$\Delta x = \frac{1}{N}\sqrt{\frac{N\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{N-1}}$$

$$= \frac{1}{6}\sqrt{\frac{6\,(950{,}31) - (75{,}50)^2}{6-1}}$$

$$= \frac{1}{6}\sqrt{\frac{5.701{,}86 - 5.700{,}25}{5}}$$

$$= \frac{1}{6}\sqrt{\frac{1{,}61}{5}}$$

$$= 0{,}167 \times 0{,}32$$

$$= 0{,}09 \text{ g}$$

Ketidakpastian relatif $= \dfrac{\Delta x}{x} \times 100\%$

$$= \frac{0{,}09}{12{,}83} \times 100\%$$

$$= 0{,}7\%$$

Menurut aturan yang telah disepakati, ketidakpastian relatif 0,7% berhak atas tiga angka. Jadi, hasil pengukuran dapat dilaporkan sebagai berikut.

$$m = x_0 \pm \Delta x$$

$$= (12{,}5 \pm 0{,}09) \text{ g}$$

Kolom Diskusi 1.1

Diskusikan bersama teman sebangku Anda dan laporkan hasilnya kepada guru, tentang cara menentukan ketidakpastian pada pengukuran massa dan waktu dan berilah contohnya!

Soal Kompetensi 1.3

1. Sebutkan beberapa instrumen pengukuran panjang, massa, waktu dan berikan penjelasan kelebihan dan kekurangannya!
2. Bagaimana cara Anda untuk menghindari kesalahan-kesalahan yang mungkin terjadi pada suatu pengukuran? Jelasakan!
3. Bagaimana cara Anda agar memperoleh nilai ketidakpastian yang lebih baik dengan menggunakan instrumen pengukuran yang sama? Jelaskan!
4. Diketahui hasil pengukuran berulang sebanyak 5 kali terhadap kuat arus pada suatu rangkaian berturut-turut adalah sebagai berikut: 5 mA; 6 mA; 5,6 mA; 6,1 mA; dan 5,4 mA. Laporkan hasil pengukuran tersebut beserta nilai ketidakpastiannya!

E. Vektor

Pada awal bab telah disinggung bahwa besaran dalam fisika dapat dikelompokkan berdasarkan ada tidaknya arah, yaitu besaran skalar dan besaran vektor. *Besaran skalar* adalah besaran yang hanya mempunyai nilai (besar) saja. Contoh besaran skalar, antara lain, massa, panjang, waktu, volume, energi, dan muatan listrik. Anda dapat menyatakan besaran skalar hanya dengan menyatakan nilainya saja. Misalnya, massa Acong 35 kg, panjang pensil 20 cm, dan volume bak mandi 1.000 liter. Besaran skalar selalu bernilai positif.

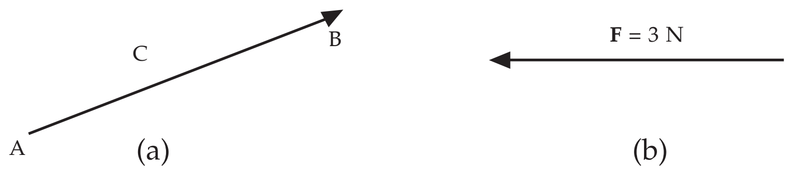
Besaran vektor adalah besaran yang mempunyai nilai (besar) dan arah. Contoh besaran vektor, antara lain, perpindahan, kecepatan, percepatan, momentum, dan gaya. Untuk menyatakan besaran vektor, harus menggunakan nilai (angka) dan disebutkan arahnya. Misalnya, Nisa berlari ke utara dengan kecepatan 5 km/jam dan Robert menggeser almari sejauh 3 meter ke barat.

1. Penulisan dan Penggambaran Vektor

Sebuah vektor dalam buku cetakan biasanya dinyatakan dalam lambang huruf besar yang dicetak tebal (*bold*), misal: **A**, **B**, atau **R**. Untuk tulisan tangan sebuah vektor dilambangkan dengan sebuah huruf kecil

yang diberi tanda anak panah di atasnya, misalnya: $\vec{a}$, $\vec{b}$, atau $\vec{r}$. Sebuah vektor juga dapat dilambangkan dengan dua huruf dan tanda anak panah di atasnya, misalnya $\overrightarrow{AB}$. Pada penulisan nilai atau besar vektor, untuk buku cetakan biasanya menggunakan huruf besar miring (*italic*), seperti *A*, *B*, atau *R*, sedangkan tulisan tangan dinyatakan dengan sebuah huruf besar dengan anak panah di atasnya beserta tanda harga mutlak, seperti: $\left|\vec{A}\right|$, $\left|\vec{B}\right|$, atau $\left|\vec{R}\right|$.

Sebuah vektor digambarkan dengan anak panah yang terdiri atas pangkal dan ujung. Panjang anak panah menyatakan besar vektor, sedangkan arah anak panah menyatakan arah vektor (dari pangkal ke ujung). Perhatikan Gambar 1.7 berikut!



Gambar 1.7 *(a) Vektor **C** dan (b) Vektor gaya **F**.*

Pada Gambar 1.7(a) menunjukkan sebuah vektor **C** dengan titik tangkap (pangkal) *A*, ujungnya di titik *B*, arahnya dari *A* ke *B*, dan besar vektor diwakili panjang anak panah. Sedangkan Gambar 1.7(b), merupakan vektor yang menyatakan sebuah gaya ***F*** sebesar 3 N dan memiliki arah ke kiri. Dua buah vektor dikatakan sama apabila besar dan arahnya sama. Sebuah vektor dikatakan negatif apabila mempunyai arah yang berlawanan dengan vektor yang dijadikan acuan.

2. Resultan Vektor

Beberapa vektor dapat dijumlahkan menjadi sebuah vektor yang disebut resultan vektor. Resultan vektor dapat diperoleh dengan beberapa metode, yaitu metode segitiga, metode jajargenjang, poligon, dan analitis.

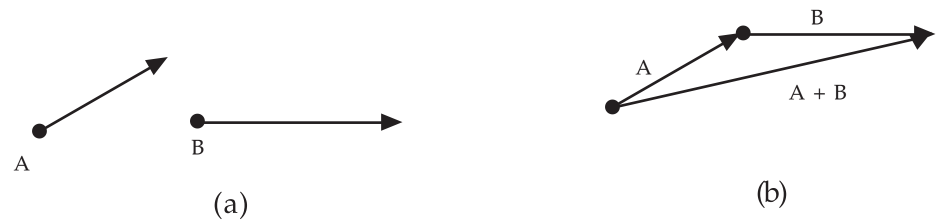
a. Metode Segitiga

Untuk mengetahui jumlah dua buah vektor Anda dapat menggunakan metode segitiga. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut.

1) Lukislah vektor pertama sesuai dengan nilai dan arahnya, misalnya **A**!
2) Lukislah vektor kedua, misalnya **B**, sesuai nilai dan arahnya dengan titik tangkapnya berimpit pada ujung vektor pertama!

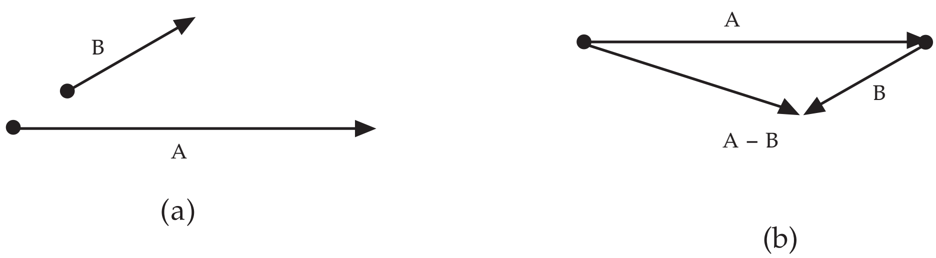
3) Hubungkan titik tangkap vektor pertama (**A**) dengan ujung vektor kedua (**B**)!

Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar berikut!



Gambar 1.8 Penjumlahan vektor dengan metode segitiga.

Selisih dua buah vektor dapat diketahui dengan cara seperti penjumlahan vektor. Misalnya, selisih dua buah vektor **A** dan **B** adalah **C**, juga dapat dinyatakan **C** = **A** – **B** atau **C** = **A** + (-**B**). Hal ini menunjukan bahwa selisih antara vektor A dan B adalah hasil penjumlahan vektor **A** dan -**B**, dengan **-B** adalah vektor yang berlawanan arah dengan **B** tetapi nilainya sama dengan **B**. Perhatikan gambar berikut!

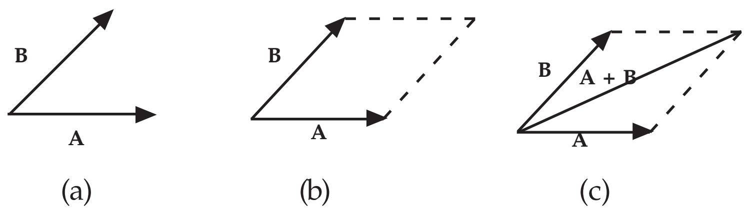


Gambar 1.9 Selisih vektor.

b. Metode Jajargenjang

Anda dapat memperoleh resultan dua buah vektor dengan metode jajargenjang. Pada metode jajargenjang terdapat beberapa langkah, yaitu sebagai berikut.

1) Lukis vektor pertama dan vektor kedua dengan titik pangkal berimpit (Gambar 1.10(a))!
2) Lukis sebuah jajargenjang dengan kedua vektor tersebut sebagai sisi-sisinya (Gambar 1.10(b))!
3) Resultan kedua vektor adalah diagonal jajargenjang yang titik pangkalnya sama dengan titik pangkal kedua vektor. Perhatikan (Gambar 1.10(c))!



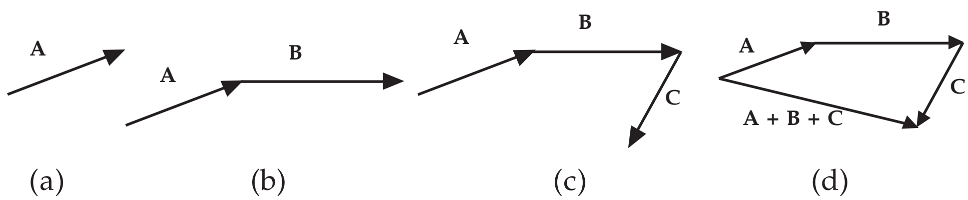
Gambar 1.10 Penjumlahan vektor dengan metode jajargenjang.

Pada metode jajargenjang, satu kali lukisan hanya dapat digunakan untuk mencari resultan dua buah vektor. Untuk resultan yang terdiri atas tiga buah vektor diperlukan dua jajargenjang, empat buah vektor diperlukan tiga jajargenjang, dan seterusnya.

c. Metode Poligon

Metode poligon dapat digunakan untuk menjumlahkan dua buah vektor atau lebih, metode ini merupakan pengembangan dari metode segitiga. Langkah-langkah menentukan resultan beberapa vektor dengan metode poligon adalah sebagai berikut.

1) Lukis vektor pertama (lihat Gambar 1.11(a))!
2) Lukis vektor kedua, dengan pangkalnya berimpit di ujung vektor pertama (lihat Gambar 1.11(b))!
3) Lukis vektor ketiga, dengan pangkalnya berimpit di ujung vektor kedua dan seterusnya hingga semua vektor yang akan dicari resultannya telah dilukis (lihat Gambar 1.11(c))!
4) Vektor resultan atau vektor hasil penjumlahannya diperoleh dengan menghubungkan pangkal vektor pertama dengan ujung dari vektor yang terakhir dilukis (lihat Gambar 1.11(d))!



Gambar 1.11 Penjumlahan vektor dengan metode poligon.

d. Metode Analisis

Metode yang paling baik (tepat) untuk menentukan resultan beberapa vektor dan arahnya adalah metode analisis. Metode ini, mencari resultan dengan cara perhitungan bukan pengukuran, yaitu menggunakan rumus kosinus dan mencari arah vektor resultan dengan menggunakan rumus sinus.

1) Menentukan Resultan Vektor Menggunakan Rumus Kosinus

Untuk menentukan vektor resultan secara matematis dapat Anda gunakan rumus kosinus, yaitu sebagai berikut.

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 \cdot F_2 \cdot \cos\alpha}$$

Keterangan:

R : resultan vektor

F_1 : vektor pertama

F_1 : vektor kedua

α : sudut apit antara kedua vektor

Contoh 1.5

Diketahui dua buah vektor, masing-masing besarnya 8 N dan 6 N. Tentukan nilai resultan kedua vektor tersebut, jika titik pangkalnya berimpit dan membentuk sudut 60°!

Diketahui : F_1 = 8 N

F_2 = 6 N

α = 60°

Ditanyakan : R = ...?

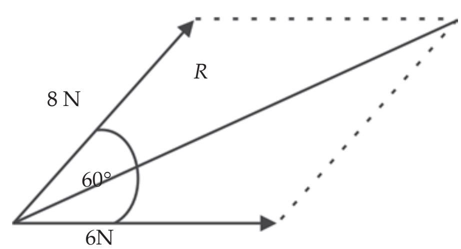
Jawab :

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 \cdot F_2 \cdot \cos\alpha}$$

$$= \sqrt{8^2 + 6^2 + 2 \cdot 8 \cdot 6 \cos 60°}$$

$$= \sqrt{(64 + 36) + 24}$$

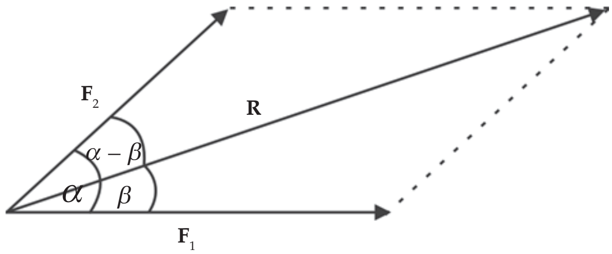
$$= \sqrt{124}$$



Jadi, nilai resultannya adalah $\sqrt{124}$ N.

2) Menentukan Arah Resultan Vektor Menggunakan Rumus Sinus

Anda ketahui bahwa vektor merupakan besaran yang mempunyai nilai dan arah. Untuk menentukan arah dari vektor resultan terhadap salah satu vektor komponennya dapat digunakan persamaan sinus. Perhatikan Gambar 1.12!



Gambar 1.12 Menentukan arah vektor.

Diketahui dua buah vektor, $\mathbf{F}_1$ dan $\mathbf{F}_2$ membentuk sudut α. Sudut antara vektor resultan (**R**) dengan vektor $\mathbf{F}_1$ adalah β, sedangkan sudut antara resultan (**R**) dan vektor $\mathbf{F}_2$ adalah $\alpha - \beta$. Secara matematis persamaan ini dapat ditulis sebagai berikut.

$$\frac{R}{\sin\alpha} = \frac{F_1}{\sin(\alpha - \beta)} = \frac{F_2}{\sin\beta}$$

Contoh 1.6

Diketahui dua buah vektor masing-masing panjangnya 8 cm dan 6 cm. Jika kedua vektor berimpit dan saling tegak lurus, maka tentukan arah resultan vektor tersebut terhadap kedua vektor tersebut!

Diketahui : F_1 = 8 cm
F_2 = 6 cm
α = 90° (tegak lurus)

Ditanyakan : a. β = ...?
b. $(\alpha - \beta)$ = ...?

Jawab :
Anda cari terlebih dahulu resultan kedua vektor.

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 \cdot F_2 \cdot \cos\alpha}$$
$$= \sqrt{8^2 + 6^2 + 2 \cdot 8 \cdot 6 \cos 90°}$$
$$= \sqrt{64 + 36 + 0}$$
$$= \sqrt{100}$$
$$= 10 \text{ cm}$$

a. Arah vektor resultan (**R**) terhadap vektor $\mathbf{F}_1$.

$$\frac{R}{\sin\alpha} = \frac{F_2}{\sin\beta} \Rightarrow \sin\beta = \frac{F_2 \times \sin\alpha}{R}$$

$$= \frac{8 \times \sin 90°}{10}$$

$$= \frac{8 \times 1}{10}$$

$$\sin\beta = 0{,}8$$

$$\beta = 53°$$

b. Arah resultan vektor (**R**) terhadap vektor $\mathbf{F}_1$.

$$(\alpha - \beta) = 90° - 53°$$

$$= 37°$$

3. Menguraikan Vektor

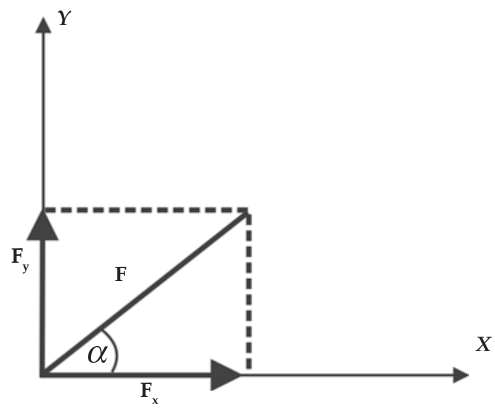
Setelah memahami cara menjumlahkan vektor, Anda akan mempelajari cara menguraikan sebuah vektor. Sebuah vektor dapat diuraikan menjadi dua buah vektor atau lebih. Pada materi ini, Anda hanya akan mempelajari cara menguraikan sebuah vektor menjadi dua buah vektor yang saling tegak lurus, yaitu pada sumbu *X* dan sumbu *Y*.

a. Menentukan Komponen Sebuah Vektor yang Besar dan Arahnya Diketahui

Vektor komponen adalah dua buah vektor atau lebih yang menyusun sebuah vektor. Setiap vektor dapat diuraikan menjadi dua buah vektor yang saling tegak lurus. Perhatikan Gambar 1.13!

Misalkan, diketahui sebuah vektor **F** yang dapat diuraikan menjadi vektor komponen pada sumbu *X*, yaitu $\mathbf{F}_X$ dan vektor komponen pada sumbu *Y*, yaitu $\mathbf{F}_y$. Jika sudut antara vektor **F** dengan sumbu *X* positif adalah θ, maka besar vektor komponen $\mathbf{F}_X$ dan $\mathbf{F}_y$ dapat Anda peroleh dengan menggunakan persamaan sinus dan kosinus.

$$\mathbf{F}_X = \mathbf{F}\cos\theta \text{ dan } \mathbf{F}_y = \mathbf{F}\sin\theta$$



Gambar 1.13 *Menguraikan vektor.*

Contoh 1.7

Tentukan besar komponen-komponen vektor dari sebuah vektor gaya sebesar 20 N pada arah 60° terhadap sumbu *X* positif!

Diketahui : $F = 20$ N

: $\theta = 60°$

Ditanyakan : a. $F_x = ...?$

b. $F_y = ...?$

Jawab :

a. $F_x = F \cos\theta$
$= 20 \cos 60°$
$= 20 \cdot 0{,}5$
$= 10$ N

b. $F_y = F \sin\theta$
$= 20 \sin 60°$
$= 20 \cdot \frac{1}{2}\sqrt{3}$
$= 10\sqrt{3}$ N

b. Menentukan Besar dan Arah Sebuah Vektor Jika Kedua Vektor Komponennya Diketahui

Misalkan, jika komponen-komponen vektor **F** adalah $\mathbf{F}_x$ dan $\mathbf{F}_y$, maka besar vektor **F** dapat ditentukan dengan menggunakan dalil Phytagoras pada segitiga siku-siku. Arah vektor tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan perbandingan trigonometri tangen.

Besar vektor **F** adalah sebagai berikut.

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

Arah vektor F adalah sebagai berikut.

$$\tan\theta = \frac{F_y}{F_x}$$

Untuk menentukan arah vektor (sudut yang dibentuk terhadap sumbu *X* positif) kamu harus memperhatikan tanda F_x dan F_y, tanda tersebut akan membantu Anda dalam menentukan kuadran dalam vektor koordinat. Perhatikan tabel berikut!

No	Kuadran	I	II	III	IV
1.	F_x	+	–	–	+
2.	F_y	+	+	–	–

Contoh 1.8

Tentukan besar dan arah vektor gaya **F**, jika diketahui vektor komponennya sebesar 8 N dan 6 N!

Diketahui : $F_x = 8$ N
$F_y = 6$ N

Ditanyakan: a. F = ...?
b. $\tan\theta$ = ...?

Jawab :

a. $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$

$= \sqrt{8^2 + 6^2}$

$= \sqrt{100}$

$= 10$ N

b. $\tan\theta = \dfrac{F_y}{F_x}$

$= \dfrac{8}{6}$

$\theta = 36{,}98°$

Soal Kompetensi 1.5

1. Sebutkan kelemahan-kelemahan dalam menentukan resultan vektor dan arahnya dengan menggunakan metode grafis dan analitis!
2. Sebuah gaya sebesar 40 N bekerja pada benda dengan membentuk sudut 60° terhadap sumbu *X*. Tentukan komponen vektor pada sumbu *X* dan *Y*!

Tokoh

Christiaan Huygens
(1629 - 1695)



Sumber: Jendela Iptek

Christiaan Huygens adalah ahli fisika, ahli astronomi, penemu jam bandul, penemu teori gelombang cahaya, dan masih banyak penemuan lainnya. Huygens lahir di Den Haag, Belanda pada tanggal 14 April 1629.

Sampai umur 16 tahun Huygens tidak pernah duduk di bangku sekolah. Ia dididik di rumah, oleh guru lesnya. Baru sesudah itu Huygens masuk ke Universitas Leiden.

Untuk mengukur waktu kejadian-kejadian astronomis, Huygens membuat jam yang mampu mengukur waktu hingga ke hitungan menit. Ia menggunakan gerakan maju-mundur yang biasa terjadi pada sebuah pendulum yang berayun untuk mengendalikan gigi-gigi jam tersebut. Ia juga menggunakan serangkaian bobot berantai yang jatuh perlahan-lahan untuk memastikan pendulumnya bergerak terus-menerus. Huygens mempresentasikan modelnya yang pertama kepada pemerintah Belanda dan menggambarkannya dalam terbitan tahun 1658. Jam pendulum itu dikenal sebagai jam "kakek" dan dipakai di seluruh dunia selama hampir 300 tahun. Huygens meninggal tanggal 8 Juli 1695 di Den Haag, pada usia 66 tahun setelah banyak berkarya.

(Dikutip seperlunya dari *100 Ilmuwan*, John Hudson Tiner, 2005)

Info Kita

Alat Ukur Modern

Pengukuran sudah dilakukan manusia sejak beribu tahun yang lalu. Sepanjang masa itu, berbagai alat ukur sudah ditemukan, mulai dari alat ukur sederhana sampai alat ukur modern. Beberapa alat ukur modern yang telah ditemukan adalah pita sonik, sinar infra merah, dan radar.

Pita sonik adalah alat yang dipakai untuk mengukur jarak suatu benda dengan prinsip pemantulan bunyi. Alat ini mengeluarkan bunyi "bip-bip" ultrasonik yang tidak dapat didengar manusia. Pada saat digunakan, pita sonik mengeluarkan bunyi ultrasonik yang akan



Sumber: Jendela Iptek

memantul setelah menumbuk benda yang diukur jaraknya. Waktu yang diperlukan bunyi untuk sampai kembali ke alat ukur menunjukkan jarak benda ke alat ukur tersebut.

Sinar inframerah dapat mengukur jarak sampai ketepatan yang tinggi (2 mm tiap untuk jarak 3 km). Alat ukur ini dapat mendeteksi benda-benda yang bergerak maupun diam, serta dapat menentukan sudut horizontal dan vertikalnya. Ukuran-ukuran yang diperoleh dari sinar inframerah disimpan dalam kartu data elektronik yang selanjutnya dipindahkan ke komputer untuk dianalisis.

Radar merupakan alat ukur tercanggih yang pernah dibuat manusia. Alat ini biasanya dipasang di pesawat, kapal dan di markas angkatan perang. Gelombang radar dipancarkan dari antena radar ke segala arah. Gelombang ini akan terpantul kembali ke radar bila menumbuk benda, baik yang bergerak maupun diam. Gelombang yang kembali dapat diubah secara elektronik menjadi gambar di layar. Sistem canggih ini dapat menentukan posisi benda, benda tersebut bergerak atau diam, dan kecepatan serta arahnya jika bergerak.

Rangkuman

1. Satuan yang dipakai saat ini adalah satuan Sistem Internasional (SI).
2. Ada tujuh besaran pokok dalam SI, yaitu panjang, massa, waktu, suhu, kuat arus listrik, intensitas cahaya, dan jumlah mol.
3. Besaran pokok adalah besaran yang digunakan sebagai dasar untuk menetapkan besaran yang lain.
4. Besaran turunan adalah besaran yang diperoleh dengan menurunkan besaran pokok.
5. Dimensi suatu besaran adalah cara besaran tersebut tersusun atas besaran-besaran pokoknya.
6. Dimensi mempunyai dua kegunaan, yaitu untuk menentukan satuan dari suatu besaran turunan dan menunjukkan kesetaraan beberapa besaran yang sepintas tampak berbeda.
7. Instrumen pengukuran adalah alat-alat yang digunakan untuk mengukur suatu besaran. Misalnya, panjang dengan mistar, massa dengan neraca, dan waktu dengan jam.
8. Setiap pengukuran pasti terdapat ketidakpastian yang disebabkan beberapa kesalahan, antara lain, kesalahan internal, kesalahan sistematik, dan kesalahan acak.
9. Kesalahan internal adalah kesalahan yang disebabkan keterbatasan pada pengamat saat melakukan pengukuran.
10. Kesalahan sistematik merupakan kesalahan yang disebabkan oleh alat yang digunakan dan atau lingkungan di sekitar alat yang mempengaruhi kinerja alat. Misalnya, kesalahan kalibrasi, kesalahan titik nol, kesalahan komponen alat atau kerusakan alat, kesalahan paralaks, perubahan suhu, dan kelembapan.
11. Kesalahan acak adalah kesalahaan yang terjadi karena adanya fluktuasi-fluktuasi halus pada saat melakukan pengukuran. Misalnya, karena adanya gerak brown molekul udara, fluktuasi tegangan listrik, landasan bergetar, bising, dan radiasi.
12. Pengukuran tunggal merupakan pengukuran yang hanya dilakukan sekali saja.
13. Ketidakpastian pada pengukuran tunggal diperoleh dari setengah skala terkecil alat yang digunakan.
14. Pengukuran berulang adalah pengukuran yang dilakukan beberapa kali.

15. Nilai yang digunakan sebagai pengganti nilai yang mendekati benar (x_0) adalah nilai rata-rata dari data yang diperoleh ($\bar{x}_0$). Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut

$$x_0 = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + ... + x_N}{N} = \frac{\Sigma x_i}{N}$$

16. Ketidakpastian (Δx) pada pengukuran berulang diperoleh dari nilai simpangan baku nilai rata-rata sampel. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut

$$\Delta x = \frac{1}{N}\sqrt{\frac{N\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{N-1}}$$

17. Besaran vektor adalah besaran yang mempunyai nilai (besar) dan arah, antara lain, perpindahan, kecepatan, percepatan, momentum, dan gaya.
18. Resultan vektor merupakan jumlah dari dua atau lebih vektor.
19. Resultan vektor dapat diperoleh dengan beberapa metode, antara lain, metode segitiga, metode jajargenjang, poligon, dan analitis.
20. Rumus mencari resultan vektor dan arahnya dengan metode analisis adalah sebagai berikut.

$$R = \sqrt{F_1^{\ 2} + F_2^{\ 2} + 2F_1F_2 \cos\alpha} \text{ dan } \frac{R}{\sin\alpha} = \frac{F_1}{\sin(\alpha - \beta)} = \frac{F_2}{\sin\beta}.$$

20. Vektor komponen adalah dua buah vektor atau lebih yang menyusun sebuah vektor.
21. Rumus mencari resultan vektor dan arahnya yang vektor komponennya diketahui dengan cara berikut.

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \text{ dan } \tan\theta = \frac{F_y}{F_x}$$

Pelatihan

A. Pilihlah jawaban yang benar dengan menuliskan huruf a, b, c, d, atau e di buku tugas Anda!

1. Kelompok besaran berikut yang merupakan besaran turunan adalah ….
   a. momentum, waktu, dan kuat arus
   b. kecepatan, usaha, dan massa
   c. energi, usaha, dan waktu
   d. berat, panjang , dan massa
   e. percepatan, usaha, dan massa jenis

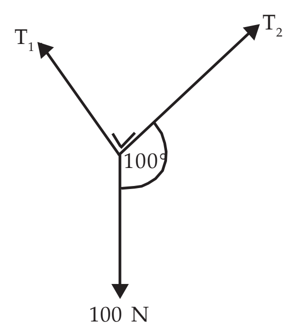
2. Besaran-besaran berikut yang yang bukan besaran turunan adalah ….
   a. percepatan
   b. gaya
   c. usaha
   d. massa
   e. volume

3. Pasangan besaran fisika berikut yang memiliki satuan sama adalah ….
   a. usaha dan gaya
   b. usaha dan energi
   c. momentum dan gaya
   d. momentum dan usaha
   e. energi dan gaya

4. Satuan berat benda adalah ….
   a. kg m
   b. kg ms^{-1}
   c. kg ms^{-2}
   d. kg m^2 s^{-1}
   e. kg m^2s^{-2}

5. Dimensi dari usaha adalah ….
   a. $[M]\ [L]^2\ [T]^{-2}$
   b. $[M]\ [T]^{-2}$
   c. $[M]\ [L]\ [T]^{-2}$
   d. $[M]\ [L]^{-1}\ [T]^{-1}$
   e. $[M]\ [L]^1\ [T]^{-2}$

6. Kesalahan instrumen yang disebabkan oleh gerak brown digolongkan sebagai ….
   a. kesalahan relatif
   b. kesalahan sistematis
   c. kesalahan acak
   d. kesalahan lingkungan
   e. kesalahan umum
7. Dua vektor **P** dan **Q** besarnya 40 dan 20 satuan. Jika sudut antara kedua vektor tersebut sebesar 60°, maka besar dari **P** – **Q** adalah ....
   a. 20
   b. $20\sqrt{3}$
   c. 30
   d. $40\sqrt{3}$
   e. 60
8. Kelompok besaran berikut yang termasuk besaran vektor adalah ….
   a. perpindahan, gaya, dan percepatan
   b. gaya, momentum, dan waktu
   c. gaya, tekanan, dan volume
   d. perpindahan , massa, dan usaha
   e. jarak, momentum, dan percepatan
9. Perhatikan gambar di samping! T_1 dan T_2 merupakan vektor gaya. Agar resultan ketiga vektor gaya sama dengan nol, maka harus berlaku hubungan ....

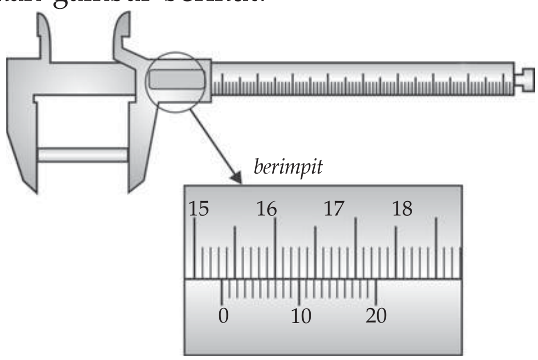


   a. $T_1 + T_2\sqrt{3} - 50 = 0$
   b. $T_1 - T_2\sqrt{3} = 0$
   c. $T_1\sqrt{3} + T_2 - 50 = 0$
   d. $T_1\sqrt{3} + T_2 = 0$
   e. $T_1 + T_2\sqrt{3} - 200 = 0$
10. Dua buah vektor yang besaranya F_1 dan F_2 memiliki titik tangkap sama. Jika $F_1 = F_2 = R$ (dengan R resultan kedua vektor tersebut), maka besarnya sudut apit antara dua vektor tersebut adalah ….
   a. 30°
   b. 45°
   c. 60°
   d. 90°
   e. 120°

11. Sebuah balok memiliki panjang 20 mm, tinggi 15 mm, dan lebar 14 mm. Volume balok dalam m^3 adalah ....
   a. $4,2 \times 10^{-9}$
   b. $4,2 \times 10^{-6}$
   c. $4,2 \times 10^{-4}$
   d. $4,2 \times 10^{-2}$
   e. $4,2 \times 10^{-1}$
12. Dua buah vektor memiliki pangkal berimpit, dan masing-masing besarnya 3 N dan 4 N. Jika sudut apit antara kedua vektor tersebut 60°, maka vektor resultannya adalah ....
   a. $\sqrt{34}$ N
   b. $\sqrt{35}$ N
   c. $\sqrt{37}$ N
   d. $\sqrt{38}$ N
   e. $\sqrt{39}$ N
13. Hasil pengukuran panjang dan lebar suatu halaman adalah 12,61 m dan 5,2 m. Menurut aturan angka penting, luas halaman tersebut adalah ....
   a. 66 m^2
   b. 65,572 m^2
   c. 65, 57 m^2
   d. 65, 5 m^2
   e. 65 m^2
14. Andi berjalan sejauh 5 m ke arah 30° utara dari timur, Cahyo berjalan sejauh 7 m dengan arah 60° timur dari selatan, dan Nana berjalan sejauh 4 m dengan arah 30° barat dari selatan. Jika mereka berangkat dari titik yang sama, maka besar perpindahan total ketiga anak tersebut adalah ....
   a. $\sqrt{125-20\sqrt{3}}$
   b. $\sqrt{125-20}$
   c. $\sqrt{25-20\sqrt{3}}$
   d. $\sqrt{225-20\sqrt{3}}$
   e. $\sqrt{135-20\sqrt{3}}$
15. Komponen-komponen vektor pada sumbu *X* dan *Y* dari vektor **P** adalah 4 m dan 6 m. Komponen-komponen vektor pada sumbu *X* dan *Y* dari vektor **(P** + **Q)** adalah 0 dan 9 m. Panjang vektor **Q** adalah ....
   a. 10 m
   b. 9 m
   c. 6 m
   d. 5 m
   e. 4 m

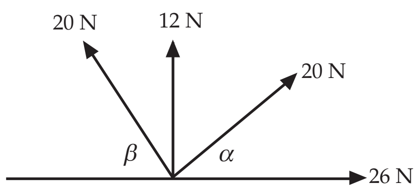
B. Kerjakan soal-soal berikut dengan benar!

1. Sebut dan jelaskan dengan bahasa Anda sendiri perbedaan antara besaran pokok dan besaran turunan!
2. Mengapa saat Anda melakukan pengukuran suatu besaran fisis harus di laporkan sedekat mungkin ke skala penuh? Jelaskan dengan bahasa Anda sendiri!
3. Perhatikan gambar berikut!



Berdasarkan gambar tersebut, hitunglah hasil pengukurannya!

4. Perhatikan gambar berikut!



Jika $\sin \alpha = \frac{3}{5}$ dan $\sin \beta = \frac{4}{5}$, maka tentukan resultan keempat gaya pada gambar tersebut!

5. Sebuah pesawat tempur terbang dari sebuah pangkalan angkatan darat pada arah 30° ke timur dari utara sejauh 100 km, kemudian berbelok ke arah timur sejauh $40\sqrt{3}$ dan akhirnya berbelok ke utara sejauh 40 km. Tentukan besar dan arah perpindahan pesawat tempur tersebut dari pangkalan angkatan darat!

Bab II

Gerak Lurus

Tujuan Pembelajaran

- *Anda dapat menganalisis besaran fisika pada gerak dengan kecepatan dan percepatan konstan.*



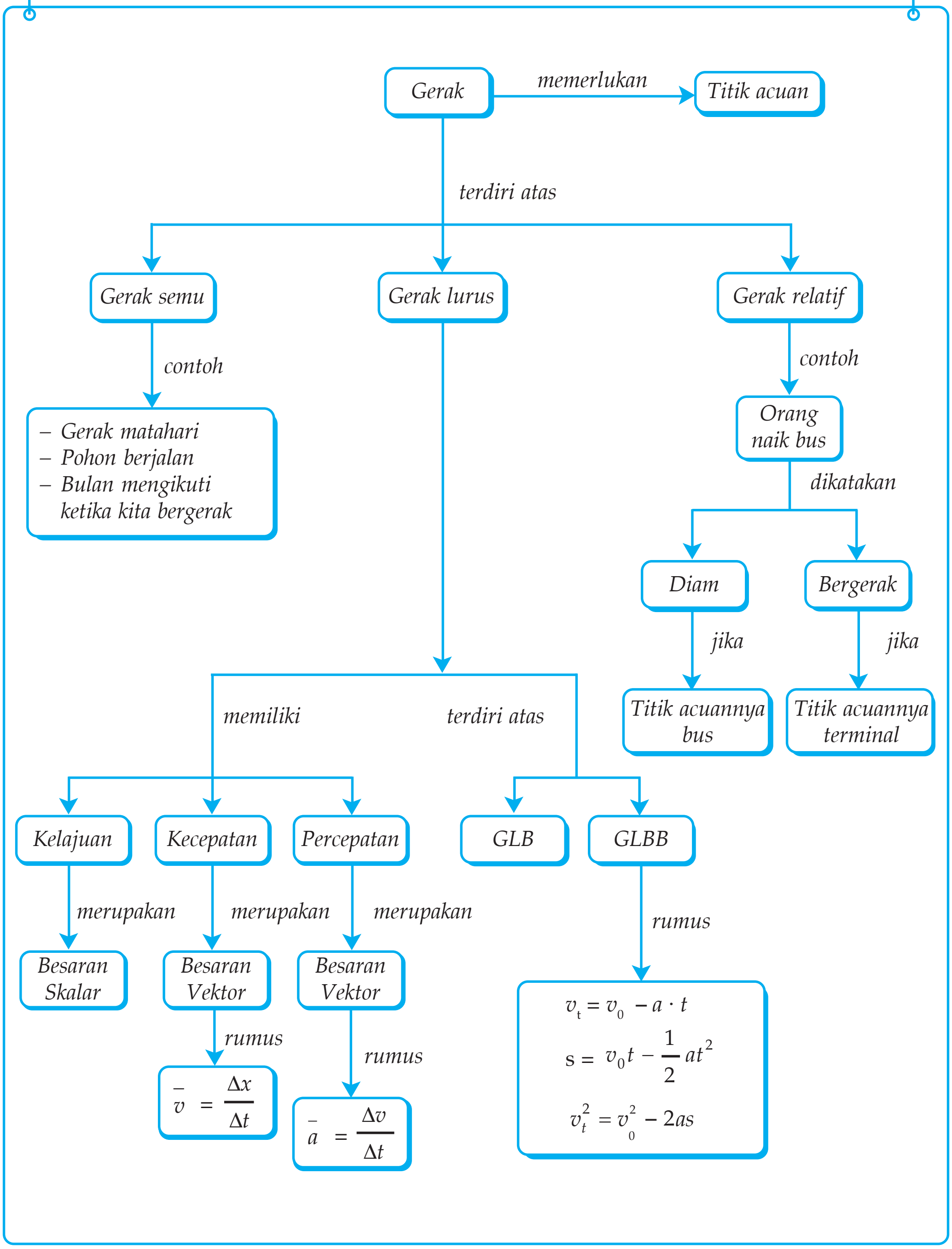
Sumber: Catalogue (GK) 1998

Pada peluncuran sebuah roket, roket akan menempuh lintasan lurus vertikal ke atas dengan percepatan yang sangat besar. Coba jelaskan, termasuk gerak apakah peristiwa peluncuran roket tersebut?

Kata Kunci

• Dinamika	• Velicometer	• Kecepatan Sesaat	• Gerak Jatuh Bebas
• Kecepatan	• Kedudukan	• Percepatan Sesaat	• Spidometer
• Jarak	• Kelajuan	• Percepatan Rata-Rata	• *Ticker Timer*
• Kecepatan	• Percepatan	• Gerak Lurus Beraturan	• Gerak Rata-Rata
• Kinematika	• Perpindahan	• Gerak Lurus Berubah Beraturan	

Peta Konsep



Gerak
memerlukan
Titik acuan
terdiri atas
Gerak semu
Gerak lurus
Gerak relatif
contoh
– Gerak matahari
– Pohon berjalan
– Bulan mengikuti ketika kita bergerak
contoh
Orang naik bus
dikatakan
Diam
Bergerak
jika
jika
Titik acuannya bus
Titik acuannya terminal
memiliki
terdiri atas
Kelajuan
Kecepatan
Percepatan
GLB
GLBB
merupakan
merupakan
merupakan
rumus
Besaran Skalar
Besaran Vektor
Besaran Vektor
rumus
rumus
$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$
$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
$v_t = v_0 - a \cdot t$
$s = v_0 t - \frac{1}{2} a t^2$
$v_t^2 = v_0^2 - 2as$

Pada kehidupan sehari-hari Anda pasti pernah melihat orang yang berjalan, mobil yang melaju, mangga jatuh dari pohonnya, dan lain sebagainya. Semua itu Anda katakan sebagai contoh gerak. Lantas, apa yang dimaksud dengan gerak?

Di SMP Anda telah mempelajari bahwa benda dikatakan bergerak apabila kedudukannya senantiasa berubah terhadap suatu acuan tertentu. Misalnya, Anda sedang duduk di dalam kereta api yang bergerak meninggalkan stasiun. Anda dikatakan bergerak apabila yang dijadikan titik acuan stasiun kereta api, hal ini karena kedudukan Anda terhadap stasiun kerta api senantiasa berubah. Namun, jika yang dijadikan titik acuan kereta api, maka Anda dikatakan tidak bergerak, karena kedudukan Anda dengan kereta api tetap.

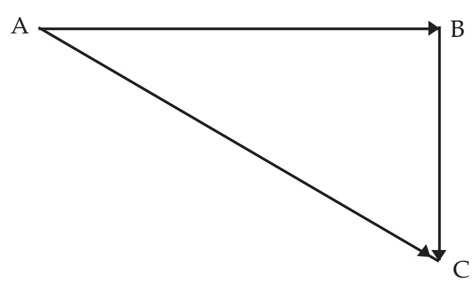
Pada bab ini Anda akan mempelajari tentang kinematika. *Kinematika* merupakan ilmu yang mempelajari tentang gerak tanpa memperhatikan penyebab timbulnya gerak. Sedangkan ilmu yang mempelajari gerak suatu benda dengan memperhatikan penyebabnya disebut *dinamika*. Dinamika akan Anda pelajari pada saat Anda mempelajari hukum-hukum Newton.

Kolom Diskusi 2.1

Di SMP Anda telah mempelajari mengenai gerak (gerak semu dan gerak relatif). Sekarang diskusikan dengan teman sebangku Anda tentang arti gerak, macamnya, dan contoh-contohnya. Diskusikan juga tentang orang yang diam apakah dapat dikatakan bergerak!

A. Jarak dan Perpindahan

Pada fisika, jarak dan perpindahan memiliki pengertian yang berbeda. *Jarak* diartikan sebagai panjang lintasan yang ditempuh oleh suatu benda dalam selang waktu tertentu, dan merupakan besaran skalar. *Perpindahan* adalah perubahan kedudukan suatu benda dalam selang waktu tertentu dan merupakan besaran vektor. Perhatikan Gambar 2.1 berikut!



Gambar 2.1 *Jarak dan perpindahan*

Ucok berjalan dari titik A ke titik B sejauh 8 m, kemudian belok ke kanan sejauh 6 m dan berhenti di C. Total perjalanan yang ditempuh oleh Ucok adalah 8 meter ditambah 6 meter, yaitu 14 meter. Total perjalanan 14 m ini disebut jarak yang ditempuh Ucok. Berbeda dengan jarak, perpindahan Ucok adalah sebagai berikut. Posisi mula-mula Ucok di titik A dan posisi akhirnya dititik C yang besarnya dapat dihitung dengan menggunakan rumus phy-tagoras.

Perpindahan Ucok = $AC = \sqrt{AB^2 + BC^2}$

$= \sqrt{8^2 + 6^2}$

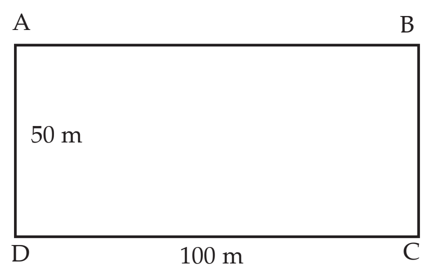
$= \sqrt{64^2 + 36^2}$

$= \sqrt{100} = 10$ m

Jadi, Ucok mengalami perpindahan sejauh 10 m.

Contoh 2.1

Perhatikan gambar di samping! Ida berlari mengelilingi lapangan sepakbola yang memiliki panjang 100 m dan lebar 50 m. Ida berangkat dari titik A dan berhenti di titik C dengan melewati titik B. Sementara itu, Adi berlari dari titik A dan berhenti di titik D dengan melewati titik B dan C, pada lapangan yang sama. Tentukan jarak dan perpindahan yang ditempuh Ida dan Adi!



Jawab:

a. Untuk Ida

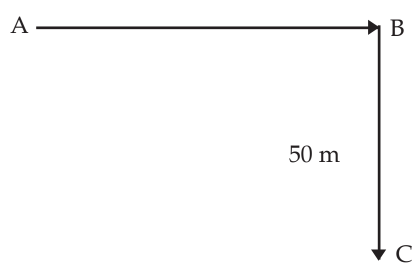
– Jarak yang ditempuh Ida

Jarak = AB + BC

= 100 + 50

= 150 m

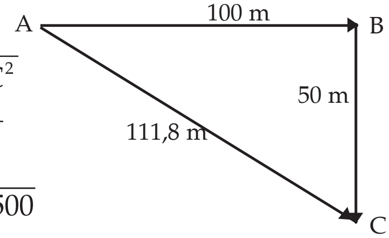
Jadi, jarak yang ditempuh Ida adalah 150 m.



– Perpindahan Ida

Karena lintasan yang ditempuh Ida berbentuk garis yang saling tegak lurus, maka perpindahannya adalah sebagai berikut.

Perpindahan Ida = AC



$$= \sqrt{AB^2 + BC^2}$$

$$= \sqrt{100^2 + 50^2}$$

$$= \sqrt{10000 + 2500}$$

$$= \sqrt{12500} = 111{,}8 \text{ m}$$

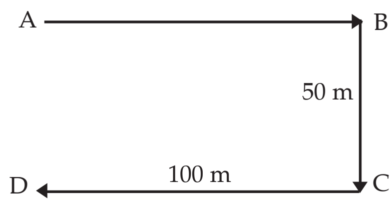
Jadi, perpindahan yang dialami Ida adalah 111,8 m.

b. Untuk Adi

– Jarak yang ditempuh Adi

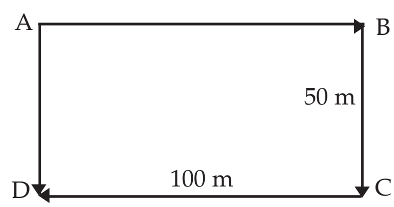
Jarak = AB + BC + CD
= 100 + 50 + 100
= 250 m

Jadi, jarak yang ditempuh Adi adalah 250 m.



– Perpindahan Adi

Ingat, perpindahan merupakan besaran vektor (memiliki arah). Jika AB Anda nyatakan positif, maka CD bernilai negatif. Oleh karena itu, perpindahan yang dialami Adi adalah sebagai berikut.



Perpindahan Adi = AD= (AB +BC) – CD
= (100 + 50) – 100
= 150 – 100
= 50 m

Jadi, perpindahan yang dialami Adi adalah 50 m.

Soal Kompetensi 2.1

1. Apa yang dimaksud dengan jarak dan perpindahan? Jelaskan dengan memakai ilustrasi!
2. Mungkinkah besar jarak dan perpindahan sama? Jelaskan dan berikan contohnya!
3. Dapatkah benda yang menempuh jarak tertentu mempunyai perpindahan nol? Jelaskan!

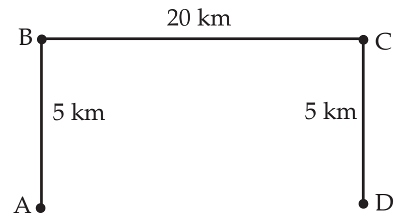
B. Kecepatan dan Kelajuan

Pada kehidupan sehari-hari orang sering menggunakan kata kecepatan meskipun yang dimaksud sebenarnya adalah kelajuan. Misalnya, kereta itu bergerak dengan kecepatan 80 km/jam. Pernyataan ini sebenarnya kurang tepat, karena kalau ingin menyatakan kecepatan, arahnya harus disebutkan. Supaya benar pernyataan tersebut harus diubah menjadi kereta itu bergerak dengan kecepatan 80 km/jam ke arah barat.

Pada fisika, kelajuan dan kecepatan merupakan dua istilah yang berbeda. *Kelajuan* adalah cepat lambatnya perubahan jarak terhadap waktu dan merupakan besaran skalar yang nilainya selalu positif, sehingga tidak memedulikan arah. Kelajuan diukur dengan menggunakan spidometer. *Kecepatan* adalah cepat lambatnya perubahan kedudukan suatu benda terhadap waktu dan merupakan besaran vektor, sehingga memiliki arah. Kecepatan diukur dengan menggunakan *velocitometer.*

1. Kecepatan Rata-Rata

Suatu benda yang bergerak dalam selang waktu tertentu dan dalam geraknya tidak pernah berhenti meskipun sesaat, biasanya benda tersebut tidak selalu bergerak dengan kelajuan tetap. Bagaimana Anda dapat mengetahui kelajuan suatu benda yang tidak selalu tetap tersebut? Perhatikan Gambar 2.2!



Gambar 2.2 *Kecepatan rata-rata dan kecepatan sesaat.*

Wulan berangkat ke sekolah dari rumahnya (titik A) yang berjarak 20 km dengan menggunakan sebuah sepeda motor. Saat melewati jalan lurus, Wulan meningkatkan kelajuan sepeda motornya sampai kelajuan tertentu dan mempertahankannya. Ketika melewati tikungan (titik B dan C), Wulan mengurangi kelajuan sepeda motornya dan kemudian meningkatkannya kembali. Menjelang tiba di sekolah (titik D), Wulan memperlambat kelajuannya sampai berhenti. Setelah sampai di sekolah yang ditempuh dalam waktu 1 jam, Wulan menyadari bahwa angka pada spidometernya telah bertambah sebesar 30 Km. Hal ini menunjukkan jarak yang ditempuh Wulan ke sekolah sebesar 30 km.

Pada perjalanan dari rumah ke sekolah, kelajuan Wulan pasti tidak selalu tetap. Saat di jalan yang lurus kelajuannya besar dan saat di tikungan kelajuannya berkurang. Berdasarkan ilustrasi tersebut, *kelajuan rata-rata* didefinisikan sebagai hasil bagi antara jarak total yang ditempuh dengan waktu untuk menempuhnya.

$$\text{Kelajuan rata-rata} = \frac{\text{Jarak total}}{\text{Waktu tempuh}}$$

Bagaimana dengan kecepatan rata-rata Wulan? *Kecepatan rata-rata* adalah hasil bagi antara perpindahan dengan selang waktunya. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_2}$$

Keterangan:

$\bar{v}$: kecepatan rata-rata (ms^{-1})
x_1 : titik awal (m)
x_2 : titik akhir (m)
t_1 : waktu akhir (s)
t_2 : waktu awal (s)

Contoh 2.2

Berdasarkan Gambar 2.2 dan ilustrasi pada uraian di atas, tentukan kelajuan rata-rata dan kecepatan rata-rata Wulan!

Jawab:

a. Kelajuan rata-rata Wulan

$$\text{Kelajuan rata-rata} = \frac{\text{Jarak total}}{\text{Waktu tempuh}}$$

$$= \frac{5 + 20 + 5}{1}$$

$$= 30 \text{ km/jam}$$

Jadi, kelajuan rata-rata Wulan adalah 30 km/jam.

b. Kecepatan rata-rata Wulan

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

$$= \frac{20 - 0}{1 - 0} = 20 \text{ km/jam}$$

Jadi, kecepatan rata-rata Wulan adalah 20 km/jam.

2. Kecepatan Sesaat

Kelajuan dan kecepatan rata-rata mendeskripsikan kecepatan dan kelajuan dalam suatu jarak tertentu. Jarak dan perpindahan total dari suatu gerak benda dapat panjang atau pendek, misalnya 500 km atau 1 m. Bagaimana cara agar Anda mengetahui kelajuan atau kecepatan sesaat suatu benda yang bergerak pada waktu tertentu?

Saat Anda naik kendaraan bermotor, untuk mengetahui kelajuan sesaat Anda tinggal melihat angka yang ditunjuk jarum pada spidometer. Perubahan kelajuan akan diikuti perubahan posisi jarum pada spidometer. Untuk menentukan kecepatan sesaat, Anda tinggal menyebutkan besarnya kelajuan sesaat ditambah menyebutkan arahnya. Bagaimana jika Anda tidak naik kendaran bermotor?

Kecepatan sesaat suatu benda merupakan kecepatan benda pada suatu waktu tertentu. Untuk menentukannya Anda perlu mengukur jarak tempuh dalam selang waktu (Δt) yang sangat singkat, misalnya 1/10 sekon atau 1/50 sekon. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Karena materi limit baru akan Anda pelajari pada mata pelajaran matematika di kelas XI, maka persamaan matematis kecepatan sesaat dapat ditulis sebagai berikut.

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}, \text{ dengan } \Delta t \text{ sangat kecil}$$

Keterangan

Δx : perpindahan (m)

Δt : selang waktu (s)

Contoh 2.3

Kedudukan sebuah mobil yang sedang bergerak dinyatakan oleh persamaan $x = 2t^2 + 2t - 2$, dengan x dalam meter dan t dalam sekon. Hitunglah kecepatan mobil pada saat t = 1 sekon!

Jawab:

Persamaan kedudukan $x = 2t^2 + 2t - 2$

Untuk $t = 1 \rightarrow x_1 = 2(1) + 2(1) - 2 = 2$

Ambil 3 selang waktu (Δt) yang berbeda, misalkan Δt_1 = 0,1 s, Δt_2 = 0,01 s, dan Δt_3 = 0,001 s.

Untuk Δt = 0,1 s

$$t_2 = t_1 + \Delta t$$
$$= 1 + 0{,}1 = 1{,}1 \text{ s}$$

$x_2 = 2(1,1)^2 + 2(1,1) - 2$
$= 2,42 + 2,2 - 2 = 2,62$ m

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_2} = \frac{2,62 - 2}{0,1} = 6,2 \text{ m/s}$$

Untuk Δt = 0,01 s.

$t_2 = t_1 + \Delta t$
$= 1 + 0,01 = 1,01$ s

$x_2 = 2(1,01)^2 + 2(1,01) - 2$
$= 2,0402 + 2,02 - 2 = 2,0602$ m

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_2} = \frac{2,0602 - 2}{0,01} = 6,02 \text{ m/s}$$

Untuk Δt = 0,001 s.

$t_2 = t_1 + \Delta t$
$= 1 + 0,001 = 1,001$ s

$x_2 = 2(1,001)^2 + 2(1,001) - 2$
$= 2,004002 + 2,002 - 2 = 2,006002$ m

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_2} = \frac{2,006002 - 2}{0,001} = 6,002 \text{ m/s}$$

Kemudian Anda buat tabel seperti berikut.

Δt (s)	v(m/s)
0,1	6,2
0,01	6,02
0,001	6,002

Berdasarkan tabel di samping, tampak bahwa untuk nilai Δt yang makin kecil (mendekati nol), kecepatan rata-rata makin mendekati nilai 6 m/s. Oleh karena itu, dapat Anda simpulkan bahwa kecepatan sesaat pada saat t = 1 s adalah 6 m/s.

Soal Kompetensi 2.2

1. Jelaskan dengan bahasa Anda yang dimaksud dengan kelajuan dan kecepatan!
2. Benarkah besarnya kelajuan sesaat sama dengan kecepatan sesaat? Jelaskan!
3. Apakah suatu benda yang bergerak dapat memiliki kecepatan rata-rata nol? Jelaskan!

C. Percepatan

Kolom Diskusi 2.1

Bagilah kelas Anda menjadi beberapa kelompok. Setiap kelompok dapat terdiri atas 3-6 anak. Diskusikan bersama anggota kelompok Anda mengenai pewaktu ketik (*ticker timer*). Bahas mengenai manfaat dan cara menggunakan *ticker timer*. Tulislah hasil kesimpulan kelompok Anda dan praktikkan di depan kelas tentang cara kelompok Anda menggunakan *ticker timer*!

Percepatan adalah perubahan kecepatan dan atau arah dalam selang waktu tertentu. Percepatan merupakan besaran vektor. Percepatan berharga positif jika kecepatan suatu benda bertambah dalam selang waktu tertentu. Percepatan berharga negatif jika kecepatan suatu benda berkurang dalam selang waktu tertentu.

1. Percepatan Rata-Rata

Tiap benda yang mengalami perubahan kecepatan, baik besarnya saja atau arahnya saja atau kedua-duanya, akan mengalami percepatan. Percepatan rata-rata ($\bar{a}$) adalah hasil bagi antara perubahan kecepatan (Δv) dengan selang waktu yang digunakan selama perubahan kecepatan tersebut (Δt). Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

Keterangan:

$\bar{a}$: perceptan rata-rata (m/s^2)

Δv : perubahan kecepatan (m/s)

Δt : selang waktu (s)

v_1 : kecepatan awal (m/s)

v_2 : kecepatan akhir (m/s)

t_1 : waktu awal (s)

t_2 : waktu akhir (s)

Contoh 2.4

Andi mengendarai sepeda motor ke arah utara dipercepat dari keadaan diam sampai kecepatan 72 km/jam dalam waktu 5 s. Tentukan besar dan arah percepatan Andi!

Diketahui : a. v_1 : 0 m/s
b. v_2 : 72 km/jam = 20 m/s
c. t_1 : 0 s
d. t_2 : 5 s

Ditanyakan : a. $\bar{a}$ = ...?
b. Arah percepatan?

Jawab:

a. Percepatan rata-rata

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

$$= \frac{20 - 0}{5 - 0}$$

$$= +4 \text{ m/s}^2$$

b. Tanda positif menunjukkan bahwa arah percepatan searah dengan arah kecepatan. Jadi, arah percepatan Andi ke utara.

2. Percepatan Sesaat

Percepatan sesaat adalah perubahan kecepatan dalam waktu yang sangat singkat. Seperti halnya menghitung kecepatan sesaat, untuk menghitung percepatan sesaat, Anda perlu mengukur perubahan kecepatan dalam selang waktu yang singkat (mendekati nol). Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \text{ dengan } \Delta t \text{ sangat kecil}$$

Contoh 2.5

Sebuah mobil balap bergerak dalam lintasan lurus dan dinyatakan dalam persamaan $v(t) = 10 - 8t + 6t^2$, dengan t dalam s dan v dalam m/s. Tentukan percepatan mobil balap tersebut pada saat $t = 3$ s!

Jawab:

Persamaan kedudukan $v(t) = 10 - 8t + 6t^2$

Untuk $t = 3$ $v(3) = 10 - 8(3) + 6(3)^2 = 40$ m/s

Ambil 3 selang waktu (Δt) yang berbeda, misalkan Δt_1 = 0,1 s, Δt_2 = 0,01 s, dan Δt_3 = 0,001 s.

Untuk Δt = 0,1 s

$$t_2 = t_1 + \Delta t$$
$$= 3 + 0,1 = 3,1 \text{ s}$$
$$v(3,1) = 10 - 8(3,1) + 6(3,1)^2 = 42,86 \text{ m/s}$$
$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{42,86 - 40}{0,1} = 28,6 \text{ m/s}^2$$

Untuk Δt = 0,01 s.

$$t_2 = t_1 + \Delta t$$
$$= 3 + 0,01 = 3,01 \text{ s}$$
$$v(3,01) = 10 - 8(3,01) + 6(3,01)^2 = 40,2806 \text{ m/s}$$
$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{40,2806 - 40}{0,01} = 28,06 \text{ m/s}^2$$

Untuk Δt = 0,001 s.

$$t_2 = t_1 + \Delta t$$
$$= 3 + 0,001 = 3,001 \text{ s}$$
$$v(3,01) = 10 - 8(3,001) + 6(3,001)^2 = 40,028006 \text{ m/s}$$
$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{40,028006 - 40}{0,001} = 28,006 \text{ m/s}^2$$

Kemudian Anda buat tabel seperti berikut.

Δt (s)	v(m/s)
0,1	28,6
0,01	28,06
0,001	28,006

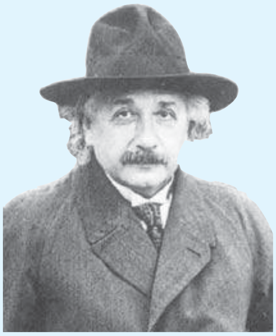
Berdasarkan tabel di samping, tampak bahwa untuk nilai Δt yang makin kecil (mendekati nol), percepatan rata-rata makin mendekati nilai 28 m/s^2. Oleh karena itu, dapat Anda simpulkan bahwa percepatan sesaat pada saat t = 3 s adalah 28 m/s^2.

Soal Kompetensi 2.3

1. Apakah benda yang bergerak dengan kecepatan tetap dapat dikatakan tidak mengalami percepatan (percepatannya sama dengan nol)? Jelaskan jawaban Anda dengan analisa vektor!
2. Jelaskan dengan bahasa Anda sendiri, mengenai percepatan dan perlajuan!
3. Buatlah soal dan jawaban yang menunjukkan percepatan positif dan negatif!

T o k o h

Albert Einstein
(1879 – 1955)



Sumber: Jendela Iptek, Energi

Albert Einstein adalah ahli fisika teori terbesar sepanjang abad 19, ahli pikir yang kreatif di dunia. Einstein dilahirkan di Ulm, Wurttemberg, Jerman, pada tanggal 14 Maret 1879. Di Sekolah Dasar Einstein termasuk anak yang bodoh. Ia hanya tertarik pada fisika dan matematika, terutama bagian teori. Karena ia hanya mau mempelajari fisika dan matematika, maka ia tamat SMP tanpa mendapat ijazah.

Pada tahun 1905 Einstein menemukan teori relativitas khusus; dan tahun 1915 ia menerbitkan teori relativitas umum. Kedua teori inilah yang merevolusi pemahaman ilmu pengetahuan akan materi, ruang, dan waktu. Pada umur 21 tahun, Einstein menjadi warga negara Swiss. Ia baru mendapat pekerjaan saat berumur 23 tahun. Namun, tiap ada kesempatan ia selalu berpikir dan mempelajari fisika teori.

Dalam teori relativitas khusus, Einstein memulai dengan asumsi bahwa:

1. bila dua buah sistem bergerak lurus beraturan relatif satu sama lain, maka semua peristiwa yang terjadi pada sistem yang satu berlangsung sama pada sistem yang lain; dan
2. kecepatan cahaya adalah sama dalam segala arah, tidak tergantung pada gerak sumber cahaya maupun pengamatnya.

Ia menyimpulkan bahwa waktu itu relatif dan batas atas kecepatan adalah kecepatan cahaya dalam ruang hampa udara. Einstein jugalah yang menemukan persamaan $E = mc^2$, suatu hubungan antara energi (E), massa (m), dan kecepatan cahaya (c). Persamaan ini yang menjelaskan besarnya energi yang dihasilkan oleh matahari dan reaksi-reaksi nuklir.

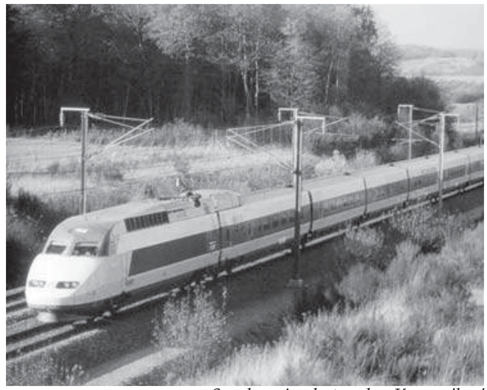
Dalam teori relativitas umum, Einstein menjelaskan gravitasi sebagai akibat kelengkungan ruang. Ia meramalkan bahwa gravitasi matahari akan membelokkan jalannya cahaya bintang. Foto-foto yang diambil selama gerhana matahari tahun 1919 menegaskan teori relativitas umum Einstein dan menjadikannya terkenal di seluruh dunia.

Pada tahun 1939, Einstein mengirim surat kepada Presiden Franklin D. Roosevelt, mendorong AS untuk mengembangkan bom atom. Namun, setelah PD II Einstein menjadi sangat aktif dalam gerakan penghapusan senjata nuklir. Ia meninggal dunia pada tanggal 18 April 1955 di Princeton, New Jersey, AS, pada umur 76 tahun, setelah banyak berkarya.

(Dikutip seperlunya dari *100 Ilmuwan*, John Hudson Tiner, 2005)

D. Gerak Lurus Beraturan (GLB)

Di SMP Anda telah mempelajari tentang gerak lurus beraturan (GLB). *Gerak lurus beraturan* (GLB) adalah gerak suatu benda dengan kecepatan tetap. Di buku lain, GLB sering didefinisikan sebagai gerak suatu benda pada lintasan lurus dengan kecepatan tetap. Hal ini di perbolehkan karena kecepatan tetap memiliki arti besar maupun arahnya tetap, sehingga kata kecepatan boleh diganti dengan kata kelajuan. Contoh GLB yang mudah Anda temui adalah gerak kereta yang sedang melaju pada lintasan yang lurus dan datar. Untuk lebih memahami arti gerak lurus beraturan, lakukanlah kegiatan berikut!



Sumber: Angkutan dan Komunikasi

Gambar 2.3 *Kereta yang sedang melaju.*

Kegiatan 2.1

Gerak Lurus Beraturan

A. Tujuan

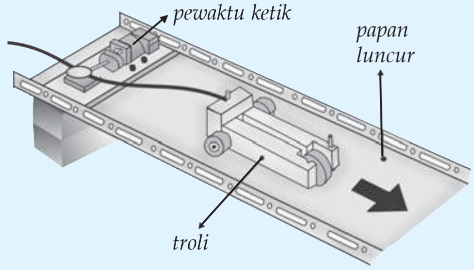
Anda dapat menyelidiki gerak lurus beraturan (GLB) suatu benda dengan pewaktu ketik (*ticker timer*).

B. Alat dan Bahan

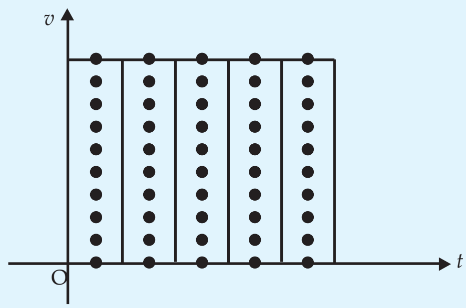
1. Pewaktu ketik
2. Mobil-mobilan
3. Gunting
4. Papan kayu
5. Beberapa buah batu bata

C. Langkah Kerja

1. Buatlah sebuah landasan miring dengan mengganjal salah satu ujung papan dengan menggunakan batu bata (perhatikan gambar di samping)!

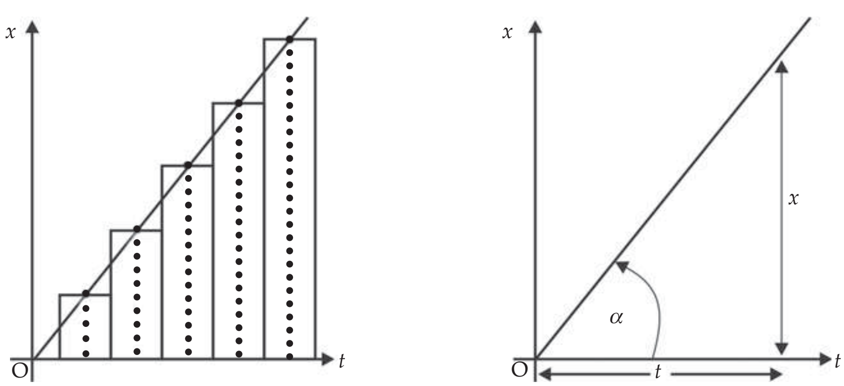


2. Aturlah kemiringan landasan sedemikian rupa sehingga saat mobil-mobilan diletakkan di puncak landasan tepat meluncur ke bawah (jika mobil-mobilan meluncur makin lama makin cepat, maka kemiringan landasan harus dikurangi)!
3. Hubungkan pewaktu ketik dengan mobil-mobilan dan biarkan bergerak menuruni landasan sambil menarik pita ketik!
4. Guntinglah pita yang ditarik oleh mobil-mobilan, hanya ketika mobil-mobilan bergerak pada landasan miring!
5. Bagilah pita menjadi beberapa bagian, dengan setiap bagian terdiri atas 10 titik/ketikan!
6. Tempelkan setiap potongan pita secara berurutan ke samping!
7. Amati diagram yang Anda peroleh dari tempelan-tempelan pita tadi, kemudian tulislah karakteristik dari gerak lurus beraturan!



Pada kegiatan di atas Anda memperoleh diagram batang yang sama panjang. Hal itu berarti kecepatan potongan adalah sama. Jadi, dapat Anda nyatakan bahwa dalam GLB, kecepatan benda adalah tetap.

Bagaimanakah bentuk grafik kedudukan terhadap waktu pada GLB? Potonglah pita pada kegiatan di atas dengan setiap bagian terdiri atas 5 titik, 10 titik, 15 titik, dan seterusnya. Susunlah potongan-potongan tersebut sehingga akan Anda peroleh gambar grafik seperti Gambar 2.4.



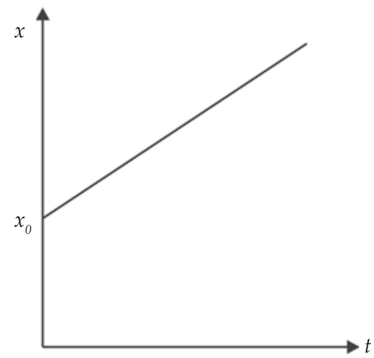
Gambar 2.4 *Grafik kedudukan terhadap waktu dari gerak lurus beraturan.*

Pada Gambar 2.4 terlihat bahwa grafik kedudukan (x) terhadap selang waktu (t) berbentuk garis lurus dan miring melalui titik asal O (0,0). Kemiringan pada grafik menunjukkan kecepatan tetap dari GLB. Makin curam kemiringannya, makin besar kecepatan benda yang diselidiki. Jika perubahan kedudukan dinyatakan dengan dan selang waktu, maka Anda dapat menyatakan hubungannya sebagai berikut.

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Karena dalam GLB kecepatannya tetap, maka kecepatan rata-rata sama dengan kecepatan sesaat. Untuk kedudukan awal $x = x_0$ pada saat $t_0 = 0$, maka $\Delta x = x - x_0$ dan $\Delta t = t - t_0 = t - 0 = t$. Oleh karena itu, persamaan di atas dapat ditulis sebagai berikut.

$$\Delta x = v \cdot \Delta t$$
$$x - x_0 = v \cdot t$$
$$x = x_0 + v \cdot t$$



Gambar 2.5 *Garfik $x - t$ gerak lurus beraturan apabila kedudukan x_0 titik berimpit dengan titik acuan nol.*

Contoh 2.6

Icha berlari pada lintasan lurus dan menempuh jarak 100 m dalam 10 sekon. Tentukan kecepatan dan waktu yang diperlukan Icha untuk menempuh jarak 25 m!

Diketahui : a. Δx = 100 m
b. Δt = 10 s

Ditanyakan : a. v = ...?
b. t = ...? (jika Δx = 25 m)

Jawab:

a. Kecepatan Icha

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{100}{10}$$
$$= 10 \text{ m/s}$$

b. Waktu untuk menempuh jarak 25 m

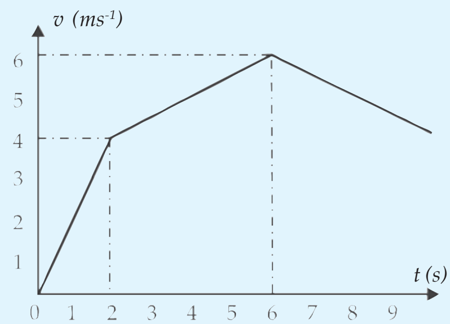
$\Delta x = v \times \Delta t$

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{v}$$

$$= \frac{25}{10}$$

$= 2,5$ s

Soal Kompetensi 2.4



1. Apakah benar jika GLB diartikan sebagai gerak benda yang memiliki kecepatan tetap? Jelaskan!
2. Berdasarkan gambar grafik di samping. Manakah dari kedua benda tersebut yang bergerak lebih lambat? Jelaskan!
3. Dua buah kereta bergerak pada rel lurus yang bersebelahan dengan arah yang berlawanan. Kereta pertama bergerak dari stasiun A dengan kelajuan 60 km/jam dan 10 menit kemudian kereta kedua bergerak dari stasiun B dengan kelajuan 100 km/jam. Apabila jarak stasiun A dan B 20 km, maka tentukan tempat kereta tersebut berpapasan!

E. Gerak Lurus Berubah Beraturan

Anda telah mempelajari mengenai gerak lurus berubah beraturan (GLBB) saat duduk di bangku SMP. Suatu benda yang kecepatannya dinaikkan atau diturunkan secara beraturan terhadap waktu dan lintasannya berupa garis lurus, maka benda tersebut telah melakukan gerak lurus berubah beraturan. GLBB adalah gerak suatu benda pada lintasan garis lurus yang percepatannya tetap. Percepatan tetap menunjukkan bahwa besar dan arahnya sama. Untuk lebih memahami mengenai GLBB lakukanlah kegiatan berikut!

Kegiatan 2.3

Gerak Lurus Berubah Beraturan

A. Tujuan

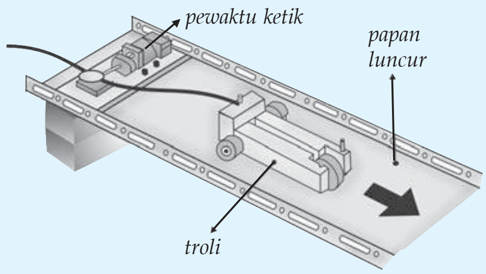
Anda dapat menyelidiki gerak lurus berubah beraturan pada suatu benda dengan menggunakan pewaktu ketik.

B. Alat dan Bahan

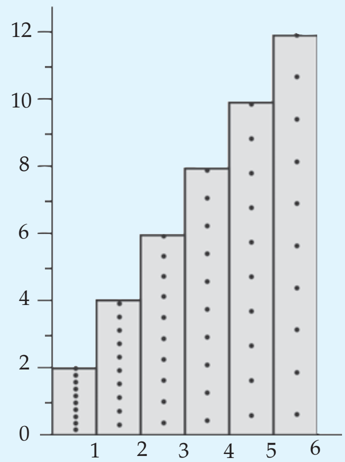
1. Pewaktu ketik
2. Mobil-mobilan
3. Gunting
4. Papan kayu
5. Beberapa buah batu bata

C. Langkah Kerja

1. Buatlah sebuah landasan miring dengan mengganjal salah satu ujung papan dengan menggunakan batubata (perhatikan gambar di bawah ini)!



2. Aturlah kemiringan landasan sedemikian rupa sehingga saat mobil-mobilan dapat meluncur (ingat, roda dan papan luncur harus bersih dari debu)!
3. Hubungkan pewaktu ketik dengan mobil-mobilan dan biarkan bergerak menuruni landasan sambil menarik pita ketik!
4. Guntinglah pita yang ditarik oleh mobil-mobilan, hanya ketika mobil-mobilan bergerak pada landasan miring!
5. Bagilah pita menjadi beberapa bagian, dengan setiap bagian terdiri atas 10 titik/ketikan!
6. Tempelkan setiap potongan pita secara berurutan ke samping!



7. Amati diagram yang Anda peroleh dari tempelan-tempelan pita tadi, kemudian tulislah karakteristik dari gerak lurus berubah beraturan!

Pada Kegiatan 2.3 Anda memperoleh diagram batang yang panjangnya selalu berubah meskipun sama-sama terdiri atas 10 ketikan. Pada grafik tersebut juga tampak bahwa tiap potongan yang diurutkan ke samping bertambah secara tetap. Hal ini menunjukkan mobil-mobilan yang menarik pewaktu ketik mengalami pertambahan kecepatan yang tetap. Sehingga dapat dikatakan mobil-mobilan tersebut mengalami gerak lurus berubah beraturan (GLBB). Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_t - v_o}{t - t_0}$$

Jika pada saat $t_1 = 0$ benda telah memiliki kecepatan v_o dan pada saat $t_2 = t$ benda memiliki kecepatan v_t, maka persamaannya menjadi seperti berikut.

$$a = \frac{v_t - v_0}{t - 0}$$

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} \quad \text{atau} \quad v_t = v_0 + a \cdot t$$

Ingat, benda yang bergerak dengan percepatan tetap menunjukkan kecepatan benda tersebut bertambah secara beraturan. Oleh karena itu, jika diketahui kecepatan awal dan kecepatan akhir, maka kecepatan rata-rata benda sama dengan separuh dari jumlah kecepatan awal dan kecepatan akhir.

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2}$$

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v_0 + a \cdot t}{2}$$

$$\bar{v} = v_0 + \frac{1}{2} at$$

Apabila s merupakan perpindahan yang ditempuh benda dalam interval waktu (t), maka persamaan menjadi sebagai berikut.

$$\bar{v} = \frac{s}{t} \Leftrightarrow s = \bar{v} \cdot t$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

Selanjutnya, untuk dapat menentukan kecepatan akhir sebuah benda yang mengalami percepatan tetap pada jarak tertentu dari kedudukan awal tanpa mempersoalkan selang waktunya, Anda dapat menghilangkan peubah t dengan mensubstitusikan persamaan $t = \frac{v_t - v_0}{a}$ (diperoleh dari persamaan $v_t = v_0 + a \cdot t$) ke dalam persamaan $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$

$$s = v_0 \left(\frac{v_t - v_0}{a} \right) + \frac{1}{2} a \left(\frac{v_t - v_0}{a} \right)^2$$

$$= \frac{v_0 v_t - v_0^2}{a} + \frac{a}{2} \left(\frac{v_t^2 + v_0^2 - 2v_t v_0}{a^2} \right)$$

$$= \frac{2v_0 v_t - 2v_0^2}{2a} + \frac{v_t^2 + v_0^2 - 2v_t v_0}{2a}$$

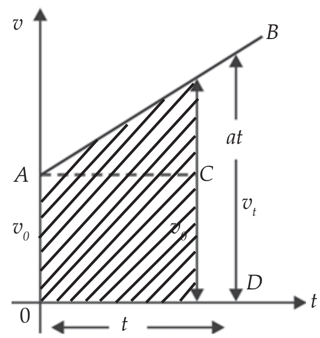
$$s = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2a}$$

$$v_t^2 = v_0^2 + 2as$$

Grafik hubungan v dan t serta s dan t pada gerak lurus berubah beraturan (GLBB) adalah sebgai berikut.

1. Grafik (v - t)

Berdasarkan persamaan $v_t = v_0 + a \cdot t$, Anda dapat melukiskan grafik hubungan antara v dan t sebagai berikut.



Gambar 2.6 *Grafik v – t gerak lurus berubah beraturan.*

Grafik pada Gambar 2.6 menunjukkan bahwa perpindahan yang ditempuh benda (s) dalam waktu (t) sama dengan luas daerah di bawah grafik yang dibatasi oleh sumbu v dan t (daerah yang diarsir).

s = luas trapesium $OABD$

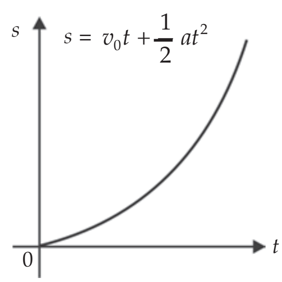
= luas segi empat $OACD$ + luas segitiga ABC

$$= \left(\frac{1}{2}\, at \cdot t + v_0\right) \cdot t$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

2. Grafik (s - t)

Berdasarkan persamaan $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$, dengan v_0 dan a Anda anggap konstan, Anda dapat melukiskan grafik hubungan antara s dan t sebagai berikut.



Gambar 2.7 *Grafik s – t gerak lurus berubah beraturan.*

Persamaan-persamaan GLBB yang telah Anda bahas di depan merupakan persamaan untuk gerakan dipercepatan beraturan. Untuk persamaan-persamaan GLBB yang diperlambat beraturan adalah sebagai berikut.

$$v_t = v_0 - a \cdot t$$

$$s = v_0 t - \frac{1}{2} a t^2$$

$$v_t^2 = v_0^2 - 2as$$

Contoh 2.7

1. Sitompul mengendarai sepeda motor balap dengan percepatan 4 m/s² . Tentukanlah kecepatan Sitompul setelah bergerak selama 10 sekon, jika kecepatan awalnya nol!

   Diketahui : a. $a = 4$ m/s²

   b. $t = 10$ s

   c. $v_0 = 0$

   Ditanyakan: $v_t = \ldots$?

   Jawab:

   $v_t = v_0 + a \cdot t$

   $= 0 + 4 \cdot 10$

   $= 40$ m/s

   Jadi, kecepatan Sitompul setelah 10 sekon adalah 40 m/s

2. Dari kecepatan 15 m/s, Aseng mempercepat kecepatan mobilnya dengan percepatan tetap 2 m/s². Tentukan waktu yang diperlukan Aseng untuk menempuh jarah 54 meter!

   Diketahui : a. $a = 2$ m/s²

   b. $s = 54$ m

   c. $v_0 = 15$ m/s

   Ditanyakan : $t = \ldots$?

   Jawab:

   $s = v_0 t + \frac{1}{2} at$

   $54 = 15t + \frac{1}{2} 2t^2$

   $54 = t^2 + 15t$

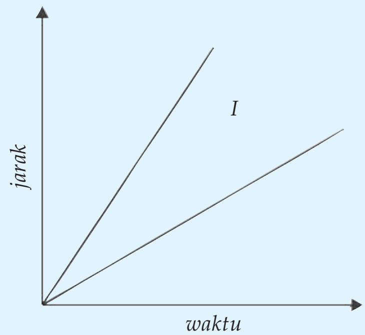
   $0 = t^2 + 15t - 54$

   $0 = (t + 18)(t - 3)$

Untuk 0 = t + 18, maka t = -18 (hal ini tidak mungkin karena mobil dipercepat bukan diperlambat)
Untuk 0 = t – 3, maka t = 3 (pengganti t yang benar karena mobil dipercepat)
Jadi, waktu yang dibutuhkan Aseng untuk menempuh jarak 54 meter adalah 3 detik.

Soal Kompetensi 2.4

1. Tuliskan kembali tentang GLBB dengan menggunakan bahasa Anda sendiri!
2. Perhatikan gambar grafik hubungan v dan t sebuah mobil yang bergerak lurus di bawah ini!



   Berdasarkan grafik di atas, tentukan jarak yang ditempuh mobil dalam 6 sekon!
3. Buatlah contoh gerakan yang kecepatannya negatif tetapi percepatannya positif!

Kolom Ilmuwan

Di SMP Anda telah mempelajari tentang gerak jatuh bebas. Bagilah kelas Anda menjadi beberapa kelompok. Tiap kelompok dapat terdiri atas 5 sampai 8 anak. Buatlah tulisan mengenai gerak jatuh bebas (pengertian, persamaan-persamaan matematis yang ada di dalamnya, contoh soal, dan aplikasi dalam kehidupan sehari-hari). Anda dapat mencari referensi di buku-buku, majalah, surat kabar, atau di internet. Presentasikan tulisan kelompok Anda di depan kelas secara bergiliran dengan kelompok lain. Buatlah kesimpulan setelah semua kelompok mempresentasikan tulisannya dan kumpulkan di meja guru Anda!

Rangkuman

1. Kinematika adalah ilmu yang mempelajari tentang gerak tanpa memperhatikan penyebab timbulnya gerak.
2. Jarak adalah panjang lintasan yang ditempuh oleh suatu benda dalam selang waktu tertentu dan merupakan besaran skalar.
3. Perpindahan adalah perubahan kedudukan suatu benda dalam selang waktu tertentu dan merupakan besaran vektor.
4. Kelajuan adalah cepat lambatnya perubahan jarak terhadap waktu dan merupakan besaran skalar yang nilainya selalu positif, sehingga tidak memedulikan arah.
5. Kelajuan diukur dengan menggunakan spidometer.
6. Kecepatan adalah cepat lambatnya perubahan kedudukan suatu benda terhadap waktu dan merupakan besaran vektor, sehingga memiliki arah.
7. Kecepatan diukur dengan menggunakan velicometer.
8. Kecepatan rata-rata adalah hasil bagi antara perpindahan dengan selang waktunya. Secara matematis dapat di tulis $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_2}$
9. Percepatan rata-rata adalah hasil bagi antara perubahan kecepatan dengan selang waktu yang digunakan selama perubahan kecepatan tersebut. Secara matematis dapat ditulis $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$.
10. Gerak lurus beraturan (GLB) adalah gerak suatu benda dengan kecepatan tetap.
11. Secara matematis GLB dapat dinyatakan $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$
12. GLBB adalah gerak suatu benda pada lintasan garis lurus yang percepatannya tetap.
13. Persamaan-persamaan pada GLBB adalah sebagai berikut.
    a. Untuk GLBB yang dipercepat
       – $v_t = v_0 + a \cdot t$
       – $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$
       – $v_t^2 = v_0^2 + 2as$

b. Untuk GLBB yang diperlambat

– $v_t = v_0 - a \cdot t$

– $s = v_0 t - \frac{1}{2} a t^2$

– $v_t^2 = v_0^2 - 2as$

14. Gerak jatuh bebas adalah gerak yang dijatuhkan tanpa kecepatan awal.

Info Kita

Cara Aman Berkendara

Pada hari senin (16/10/2006), terjadi tabrakan antara truk dan bus di jalan tol Jakarta-Cikampek. Tabrakan bermula karena truk yang melaju dari arah Cikampek menuju Jakarta tiba-tiba membelok ke kanan, melintasi median jalan, dan masuk ke jalur tol arah Jakarta menuju Cikampek. Sementara itu, bus yang sedang melaju cepat ke arah Cikampek tidak dapat menghindari truk yang tiba-tiba muncul di hadapannya, dan tabrakan pun terjadi. Diduga kuat sopir truk mengantuk dan tanpa sadar membanting setir ke kanan sehingga truk masuk ke jalur arah berlawanan.

Ada dua hal yang dapat dipelajari dari tabrakan yang menewaskan sembilan orang dan menciderai 10 orang ini. *Pertama*, jangan mengemudikan kendaraan dalam keadaan mengantuk. Berhentilah di tempat peristirahatan yang telah disediakan, dan beristirahatlah. Namun, jika sudah terlalu mengantuk, berhentilah di bahu jalan, nyalakan lampu hazard, dan beristirahatlah. *Kedua*, manusia memiliki keterbatasan dalam mengantisipasi sesuatu yang tiba-tiba muncul di hadapannya.

Kodratnya sebagai makhluk pejalan kaki, manusia hanya mampu mengantisipasi sesuatu yang tiba-tiba muncul di hadapannya jika ia bergerak di bawah 10 km/jam. Jika bergerak di atas itu, ia tidak bisa menghindar. Kemampuan ini berhubungan dengan kecepatan manusia dalam bereaksi. Umumnya manusia memerlukan 0,8 sampai 1 detik untuk bereaksi. Jika seseorang melajukan kendaran dengan kelajuan 50 km/jam, maka waktu 1 detik untuk bereaksi itu sama dengan 14 meter (dibulatkan). Sebab, 50 km/jam sama dengan 14 m/s. Dan mobil yang melaju 50 km/jam memerlukan 14 m untuk sepenuhnya berhenti. Jadi, jarak total yang diperlukan untuk sepenuhnya berhenti adalah 28 m. Pada kecepatan sebesar 90 km/jam, total jarak yang diperlukan 70 m. Sedangkan pada kelajuan 130 km/jam, total jarak yang diperlukan 129 m.

Kebiasaan memacu kendaraan dengan kecepatan tinggi tidak menjadikan seseorang bisa mengatasi kodratnya sebagai makhluk pejalan kaki. Bahkan, seorang pembalap F1 sekelas Michael Schumacher pun tidak bisa menghindar saat mobil F1 yang berada di depannya berhenti atau mengurangi kecepatan secara tiba-tiba. Oleh karena itu, saat memacu mobil dengan kecepatan tinggi (di atas 80 km/jam), seorang pengemudi harus memusatkan seluruh perhatiannya ke jalan. Memusatkan seluruh perhatian ke jalan, termasuk memperhatikan gerak-gerik kendaraan yang datang dari arah berlawanan, sulit dilakukan jika mobil dipacu dengan kecepatan tinggi. Hal ini disebabkan sudut pandang pengemudi menyempit seiring dengan meningkatnya kecepatan. Pada kecepatan sebesar 40 km/jam sudut pandang pengemudi 100°, 70 km/jam menjadi 75°, 100 km/jam menjadi 45°, dan pada kecepatan 130 km/jam menjadi 30°.

Sayangnya, dalam kehidupan sehari-hari jarang ada kendaraan yang melaju dijalan dengan menjaga jarak aman. Pada umumnya, jarak antar-kendaraan 3 sampai 4 meter saja. Bahkan juga saat mobil dipacu di atas 80 km/jam. Selain itu, jarang pengemudi yang memperhatikan kondisi fisiknya. Meskipun mengantuk, lelah, atau mengonsumsi obat yang menyebabkan kantuk, mereka tetap memacu kendaraan dengan kecepatan tinggi. Itulah sebabnya, saat dijalan ada kendaraan yang mengerem mendadak, lansung terjadi tabrakan beruntun.

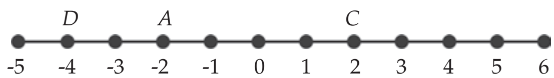
Berdasarkan studi yang dilakukan diberbagai negara, diketahui bahwa 80% dari kecelakaan di jalan raya karena kesalahan pengemudi (*human error*). Sisanya terjadi karena hal-hal lain seperti pengemudi kendaraan lain, ban pecah, rem blong, atau jalan jelek. Oleh karena itu, periksalah kendaraan Anda saat akan melakukan perjalanan jauh dan jagalah fisik Anda agar tetap dalam kondisi prima.

(*Dikutip seperlunya dari*, Kompas, *20 Oktober 2006*)

P e l a t i h a n

A. Pilihlah jawaban yang benar dengan menuliskan huruf a, b, c, d, atau e di buku tugas Anda!

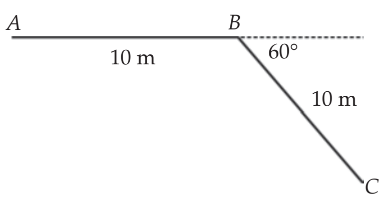
1. Perhatikan gambar berikut!



Jono menempuh lintasan ABC dan Jinni menempuh lintasan BDC. Jarak dan perpindahan Jono dan Jinni adalah ….

a. Jono; 12 m dan 4 m, Jinni; 16 m dan 4 m
b. Jono; 12 m dan 4 m, Jinni; 8 m dan 4 m
c. Jono; 8 m dan 4 m, Jinni; 16 m dan 4 m
d. Jono; 12 m dan 8 m, Jinni; 16 m dan 4 m
e. Jono; 16 m dan 4 m, Jinni; 8 m dan 4 m

2. Perhatikan gambar berikut!



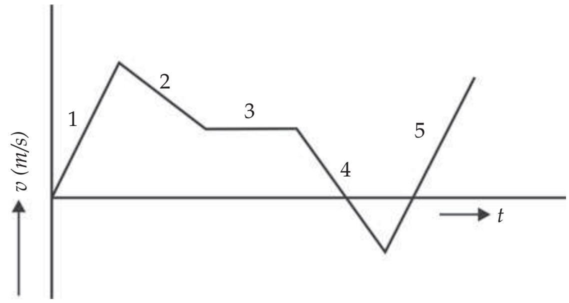
Sebuah benda berpindah dari posisi A ke posisi C, melaluli lintasan A – B – C. Panjang perpindahan yang dilakukan benda tersebut adalah ….

a. 10 m
b. 10 m
c. 10 m
d. 20 m
e. 20 m

3. Karena patah hati Andi memacu motornya lurus 150 km ke barat selama 3 jam, kemudian berbalik ke timur 50 km selama 2 jam. Kecepatan rata-rata Andi dalam perjalanan tersebut adalah ….

a. 10 km/jam ke barat
b. 10 km/jam ke timur
c. 20 km/jam ke barat
d. 20 km/jam ke timur
e. 30 km/jam ke barat

4. Perhatikan gambar grafik dibawah ini!



Grafik di atas merupakan grafik hubungan antara kecepatan (v) dan waktu (t) dari suatu gerak lurus. Bagian grafik yang menunjukkan gerak lurus beraturan adalah ....

a. 1
b. 2
c. 3
d. 4
e. 5

5. Posisi suatu partikel yang bergerak sepanjang garis lurus dinyatakan dalam persamaan $x = 2t^2$, dengan x dalam m dan t dalam s serta 2 dalam m/s^2. Kecepatan sesaat pada waktu t = 2 s adalah .... (Olimpiade Fisika, Yohanes Surya)

a. 5 m/s
b. 6 m/s
c. 7 m/s
d. 8 m/s
e. 9 m/s

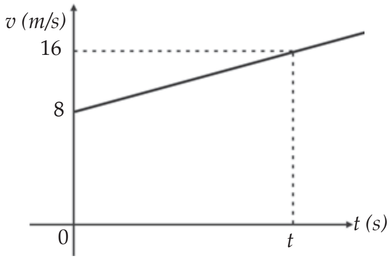
6. Keluarga Sinta bepergian dengan menggunakan sebuah mobil. Sinta menyetir mobil menggantikan ayahnya setelah menempuh jarak 40 km dari rumahnya. Pada jarak 10 km dari tempat perggantian, Sinta bergerak dengan kecepatan 90 km/jam selama 15 menit. Posisi Sinta dan keluarganya dari rumah setelah 15 menit tersebut adalah ....

a. 72 km dari rumah
b. 72,5 km dari rumah
c. 82 km dari rumah
d. 82,5 km dari rumah
e. 92 km dari rumah

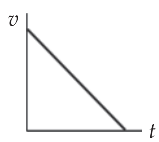
7. Sebuah benda bergerak dengan kecepatan awal 20 m/s. Jika setelah 5 s kecepatannya menjadi 30 m/s, maka percepatan dan jarak yang ditempuh benda tersebut setelah 5 s adalah ....

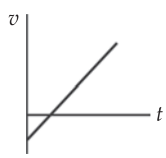
a. 2 m/s^2 dan 100 m
b. 3 m/s^2 dan 100 m
c. 2 m/s^2 dan 125 m
d. 3 m/s^2 dan 125 m
e. 2 m/s^2 dan 150 m

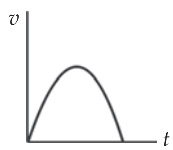
8. Sebuah kereta listrik berangkat dari stasiun A dengan memperoleh percepatan 1 m/s^2 selama 6 s dan kemudian percepatannya dinaikkan menjadi 2 m/s^2 sampai mencapai kecepatan 20 m/s. Kemudian, kereta tersebut bergerak dengan kecepatan tetap. Menjelang sampai di stasiun B, kereta tersebut diperlambat dan berhenti setelah 5 detik. Jika waktu yang diperlukan untuk sampai di stasiun B 50 s, maka jarak kedua stasiun tersebut adalah ….
   a. 999 m
   b. 899 m
   c. 779 m
   d. 789 m
   e. 799 m
9. Perhatikan gambar grafik di bawah ini!

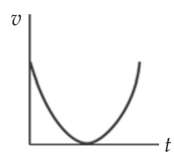


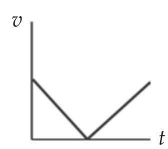
   Jika luas daerah yang diarsir 48 m^2, maka percepatan benda dalam grafik tersebut adalah ….
   a. 1 m/s^2
   b. 2 m/s^2
   c. 3 m/s^2
   d. 4 m/s^2
   e. 5 m/s^2
10. Grafik kecepatan terhadap waktu untuk benda yang dilempar ke atas dan kembali pada pelempar setelah mencapai ketinggian tertentu adalah ….

   a.


   b.


   c.


   d.


   e.


B. *Kerjakan soal-soal berikut dengan benar!*

1. David berlari menurut garis lurus dengan kecepatan rata-rata 5 m/s selama 4 menit. Kemudian ia melanjutkan dengan kecepatan rata-rata 4 m/s selama 2 menit dalam arah yang sama. Hitunglah kecepatan rata-rata dan total perpindahan David!
2. Anda diminta oleh menteri perhubungan merancang sebuah bandara untuk pesawat-pesawat kecil. Pesawat-pesawat yang akan digunakan di bandara tersebut harus mencapai kecepatan 27,8 ms^{-1} atau 100 km/jam sebelum lepas landas. Berapa panjang minimum landasan yang harus dibuat agar pesawat dapat lepas landas?
3. Alvin mengendarai sepeda motor dengan kecepatan 90 km/jam. Di tengah perjalanan, tiba-tiba ia melihat seorang nenek menyeberang jalan pada jarak 125 m di mukanya. Berapa perlambatan minimum yang harus dilakukan Alvin agar dia tidak menabrak nenek tersebut?
4. Cindy dan Putri mengendarai sepeda motor yang bergerak saling berhadapan dengan laju yang sama, 30 km/jam. Ketika jarak mereka 60 km, seekor lebah terbang dari ujung roda depan sepeda motor Cindy ke ujung roda depan sepeda motor Putri. Saat menyentuh ujung roda depan sepeda motor Putri, lebah kembali lagi ke ujung roda depan sepeda motor Cindy, demikian seterusnya. Jika selama gerakan tersebut lebah memiliki kelajuan 50 km/jam, maka hitunglah jarak yang ditempuh lebah sampai ia terjepit di antara roda depan sepeda motor Cindy dan Putri!
5. Wendy, seorang penerjun payung. Ia melompat dari sebuah pesawat dan baru mengembangkan parasutnya setelah jatuh bebas sejauh 60 m. Karena mengembangnya parasut tersebut, Wendy mendapatkan perlambatan sebesar 2 m/s^2. Jika saat tiba di tanah kecepatan Wendy tepat nol, maka tentukan lama parasut tersebut di udara dan ketinggian Wendy saat melompat!

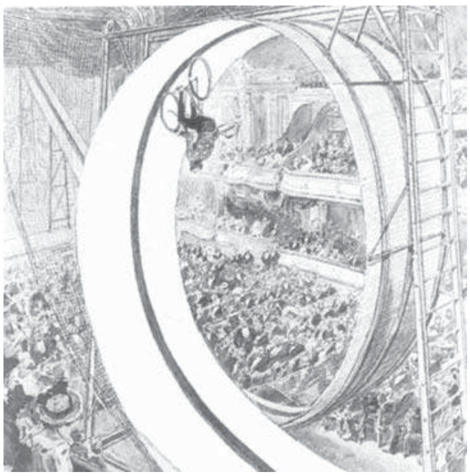


Bab III

Gerak Melingkar

Tujuan Pembelajaran

- *Anda dapat menganalisis besaran fisika pada gerak melingkar dengan laju konstan.*



Sumber: Jendela Iptek, Gaya dan Gerak

Perhatikan gambar di atas! Saat pengendara "sepeda maut" mengitari gulungan lintasan maut, tekanan lintasan terhadap ban sepedanya menyebabkan timbulnya gaya sentripetal yang menariknya mengelilingi lintasan yang melingkar tersebut. Saat berada di bagian atas lintasan, gravitasi bumi menariknya ke bawah. Namun, kecenderungannya untuk bergerak mengikuti garis lurus (gaya sentrifugal) membuat sepedanya tertekan keluar menimpa lintasan.

Kata Kunci

- Frekuensi
- Gerak Lurus
- Gerak Melingkar
- Kecepatan Linear
- Kecepatan Sudut Rata-Rata
- Kecepatan Sudut Sesaat
- Percepatan Sudut Rata-Rata
- Percepatan Tangensial
- Vektor Kecepatan Sudut
- Gerak Melingkar Beraturan
- GMBB
- Percepatan Sentripetal

Seember air yang diayunkan memutar di ujung tali tidak akan jatuh kalau ember tersebut digerakkan cukup cepat. Hal ini karena air tersebut “berusaha” terus bergerak mengikuti garis lurus dan karenanya mendorong ember yang menariknya memutar sehingga membentuk lingkaran (Peter Lafferty, 2000). Ember tersebut telah melakukan gerak melingkar.

Apa yang dimaksud dengan gerak melingkar? Pada bab II, Anda telah mempelajari tentang gerak yang mengalami percepatan pada lintasan garis lurus. Pada bab ini, Anda akan mempelajari gerak yang memiliki percepatan dengan arah lintasan yang melingkar. *Gerak melingkar* adalah gerak yang memiliki lintasan berupa lingkaran.

Pada gerak melingkar, arah gerak setiap saat berubah walaupun besar kecepatan dapat saja tetap. Arah kecepatan yang setiap saat berubah ini mengakibatkan adanya percepatan yang senantiasa mengarah ke pusat lingkaran. Percepatan ini sering disebut sebagai *percepatan sentripetal.*

Contoh gerak melingkar dalam kehidupan sehari-hari adalah mobil yang menikung, gerak kincir angin, gerak bulan mengelilingi bumi, dan gerak roda sepeda yang berputar pada porosnya. Prinsip gerak melingkar juga banyak diterapkan pada mesin-mesin kendaraan atau pabrik. Secara tidak langsung, pemahaman tentang gerak melingkar telah memperingan kerja manusia. Oleh karena itu, penting bagi Anda untuk mengerti tentang gerak melingkar.

Kolom Diskusi 3.1

Bagilah kelas Anda dalam beberapa kelompok, tiap kelompok dapat terdiri atas 5 sampai 8 anak. Diskusikan hal-hal di bawah ini, presentasikan hasil diskusi di depan kelas secara bergiliran, dan buatlah kesimpulan yang dikumpulkan di meja guru Anda!

1. Apa yang dimaksud perpindahan dalam gerak melingkar?
2. Apa yang dimaksud dengaan putaran, derajat, dan radian?
3. Apa yang dimaksud dengan kecepatan sudut rata-rata dan sesaat dalam gerak melingkar?
4. Apa yang dimaksud dengan percepatan dalam gerak melingkar?

A. Gerak Melingkar Beraturan

Gerak melingkar beraturan (GMB) merupakan gerak suatu benda yang menempuh lintasan melingkar dengan besar kecepatan tetap. Kecepatan pada GMB besarnya selalu tetap, namun arahnya selalu berubah, dan arah kecepatan selalu menyinggung lingkaran. Artinya, arah kecepatan (v) selalu tegak lurus dengan garis yang ditarik melalui pusat lingkaran ke titik tangkap vektor kecepatan pada saat itu.

Besaran-Besaran Fisika dalam Gerak Melingkar

a. Periode (*T*) dan Frekuensi (*f*)

Waktu yang dibutuhkan suatu benda yang begerak melingkar untuk melakukan satu putaran penuh disebut periode. Pada umumnya periode diberi notasi *T*. Satuan SI periode adalah sekon (s).

Banyaknya jumlah putaran yang ditempuh oleh suatu benda yang bergerak melingkar dalam selang waktu satu sekon disebut *frekuensi*. Satuan frekuensi dalam SI adalah putaran per sekon atau hertz (Hz). Hubungan antara periode dan frekuensi adalah sebagai berikut.

$$T = \frac{1}{f}$$

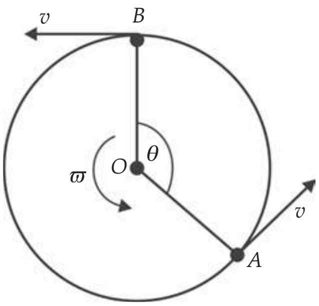
Keterangan:

T : periode (s)

f : frekuensi (Hz)

b. Kecepatan Linear

Perhatikan Gambar 3.1! Misalkan sebuah benda melakukan gerak melingkar beraturan dengan arah gerak berlawanan arah jarum jam dan berawal dari titik A. Selang waktu yang dibutuhkan benda untuk menempuh satu putaran adalah *T*. Pada satu putaran, benda telah menempuh lintasan linear sepanjang satu keliling lingkaran ($2\pi r$), dengan *r* adalah jarak benda dengan pusat lingkaran (O) atau jari-jari lingkaran. *Kecepatan linear* (*v*) merupakan hasil bagi panjang lintasan linear yang ditempuh benda dengan selang waktu tempuhnya. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.



Gambar 3.1 *Benda bergerak melingkar*

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

Anda ketahui bahwa $T = \frac{1}{f}$ atau $f = \frac{1}{T}$, maka persamaan kecepatan linear dapat ditulis

$$v = 2\pi rf$$

c. Kecepatan Sudut (Kecepatan Anguler)

Sebelum mempelajari kecepatan sudut Anda pahami dulu tentang radian. Satuan perpindahan sudut bidang datar dalam SI adalah radian (rad). Nilai radian adalah perbandingan antara jarak linear yang ditempuh benda dengan jari-jari lingkaran. Karena satuan sudut yang biasa digunakan adalah derajat, maka perlu Anda konversikan satuan sudut radian dengan derajat.

Anda ketahui bahwa keliling lingkaran adalah $2\pi r$. Misalkan sudut pusat satu lingkaran adalah θ, maka sudut pusat disebut 1 rad jika busur yang ditempuh sama dengan jari-jarinya. Persamaan matematisnya adalah $\theta = \frac{2\pi r}{r} rad \Leftrightarrow \theta = 2\pi\ rad$. Karena 2π sama dengan 360° maka besarnya sudut dalam satu radian adalah sebagai berikut.

$$2\pi \text{ rad} = 360°$$

$$1 \text{ rad} = \frac{360°}{2\pi} = \frac{360°}{2 \times 3{,}14} = \frac{360°}{6{,}28} = 57{,}3°$$

Perhatikan kembali Gambar 3.1! Dalam selang waktu Δt, benda telah menempuh lintasan sepanjang busur AB, dan sudut sebesar $\Delta\theta$. Oleh karena itu, kecepatan sudut merupakan besar sudut yang ditempuh tiap satu satuan waktu. Satuan kecepatan sudut adalah rad s^{-1}. Selain itu, satuan lain yang sering digunakan untuk menentukan kecepatan pada sebuah mesin adalah *rpm*, singkatan dari *rotation per minutes* (rotasi per menit).

Karena selang waktu untuk menempuh satu putaran adalah *T* dan dalam satu putaran sudut yang ditempuh benda adalah 360° (2π), maka persamaan kecepatan sudutnya adalah $\omega = \frac{2\pi}{T}$. Anda ketahui bahwa $T = \frac{1}{f}$ atau $f = \frac{1}{T}$, sehingga persamaan kecepatan sudutnya (ω) menjadi sebagai berikut.

$$\omega = 2\pi f$$

Keterangan:

ω : kecepatan sudut (rad s^{-1})

f : frekuensi (Hz)

T : periode (s)

Contoh 3.1

Bakri memacu sepeda motornya pada lintasan yang berbentuk lingkaran dalam waktu 1 jam. Dalam waktu tersebut, Bakri telah melakukan 120 putaran. Tentukan periode, frekuensi, kecepatn linear, dan kecepatan sudut Bakri jika lintasan tersebut memiliki diameter 800 m!

Diketahui : a. $d = 800$ m $\Leftrightarrow r = 400$ m
b. $t = 1$ jam $= 3600$ s
c. $n = 120$ putaran

Ditanyakan : a. $T = \ldots?$
b. $f = \ldots?$
c. $v = \ldots?$
d. $\omega = \ldots?$

Jawab :

a. $T = \dfrac{t}{n} = \dfrac{3600}{120} = 30$ s

b. $f = \dfrac{1}{T} = \dfrac{1}{30}$ Hz

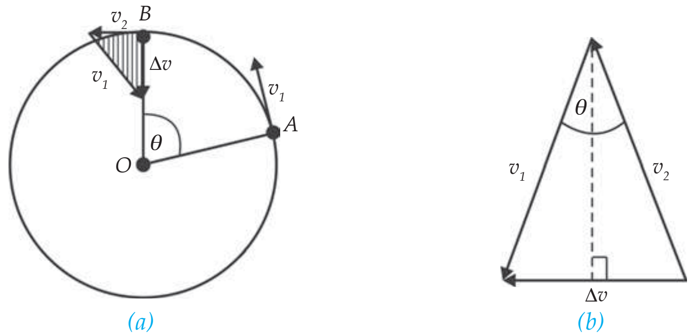
c. $v = 2\pi rf$
$= 2\pi \times 400 \times \dfrac{1}{30}$
$= 26,7$ m/s

d. $\omega = 2\pi f$
$= 2\pi \dfrac{1}{30}$
$= 0,0167$ rad s^{-1}

d. Percepatan Sentripetal

Benda yang melakukan gerak melingkar beraturan memiliki percepatan yang disebut dengan *percepatan sentripetal*. Arah percepatan ini selalu menuju ke arah pusat lingkaran. Percepatan sentripetal berfungsi untuk mengubah arah kecepatan.

Pada gerak lurus, benda yang mengalami percepatan pasti mengakibatkan berubahnya kelajuan benda tersebut. Hal ini terjadi karena pada gerak lurus arahnya tetap. Untuk benda yang melakukan gerak melingkar beraturan, benda yang mengalami percepatan kelajuannya tetap tetapi arahnya yang berubah-ubah setiap saat. Jadi, perubahan percepatan pada GMB bukan mengakibatkan kelajuannya bertambah tetapi mengakibatkan arahnya berubah. Ingat, percepatan merupakan besaran vektor (memiliki besar dan arah). Perhatikan Gambar 3.2 berikut!



__Gambar 3.2__ Percepatan sentripetal dapat ditentukan dengan penguraian arah kecepatan.

Karena pada GMB besarnya kecepatan tetap, maka segitiga yang diarsir merupakan segitiga sama kaki. Kecepatan rata-rata dan selang waktu yang dibutuhkan untuk menempuh panjang busur AB (r) dapat ditentukan melalui persamaan berikut.

$$\frac{\frac{1}{2}\Delta v}{v} = \sin\frac{1}{2}\theta = \Delta v = 2v\sin\frac{1}{2}\theta$$

$$r\theta = v \times \Delta t \Leftrightarrow \Delta t = \frac{r\theta}{v}$$

Jika kecepatan rata-rata dan selang waktu yang digunakan telah diperoleh, maka percepatan sentripetalnya adalah sebagai berikut.

$$a_s = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{2v\sin\frac{1}{2}\theta}{r\theta/v} = \frac{v^2}{r}\,\frac{\sin\frac{1}{2}\theta}{\frac{1}{2}\theta}$$

Jika mendekati nol, maka persamaan percepatannya menjadi seperti berikut.

$$a_s = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta v}{\Delta t} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{v^2\sin\frac{1}{2}\theta}{r\,\frac{1}{2}\theta} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\sin\frac{1}{2}\theta}{\frac{1}{2}\theta}$$

$$\text{Karena } \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\sin\frac{1}{2}\theta}{\frac{1}{2}\theta} = 1, \text{ maka } a_s = \frac{v^2}{r}$$

Karena $v = r\omega$, maka bentuk lain persamaan di atas adalah $a_s = \omega^2 r$. Jadi, untuk benda yang melakukan GMB, percepatan sentripetalnya (a_s) dapat dicari melalui persamaan berikut.

$$a_s = \frac{v^2}{r} \text{ atau } a_s = \omega^2 r$$

Contoh 3.2

Bambang mengendarai sepeda motor melewati sebuah tikungan lingkaran yang berjari jari 20 m saat akan pergi ke sekolah. Jika kecepatan motor Bambang 10 m/s, maka tentukan percepatan Bambang yang menuju ke pusat lintasan!

Diketahui : a. $r = 20$ m

b. $v = 10$ m/s

Ditanyakan : $a_s = \ldots?$

Jawab :

$$a_s = \frac{v^2}{r} = \frac{(10)^2}{20} = \frac{100}{20} = 5 \text{ m/s}$$

Soal Kompetensi 3.1

1. Apakan kecepatan sudut, percepatan, dan kelajuan pada sebuah benda yang melakukan gerak melingkar beraturan selalu konstan? Jelaskan!
2. Apakah hubungan antara kecepatan linear dengan kecepatan sudut? Jelaskan!
3. Yudi berlari dengan kecepatan 6 m/s mengitari sebuah belokan yang radiusnya 20 m. tentukan percepatan ke arah pusat belokan yang dialami Yudi!

B. Gerak Melingkar Berubah Beraturan

Seperti pada pembahasan gerak lurus, pada gerak melingkar juga dikenal gerak melingkar berubah beraturan (GMBB). Jika perubahan percepatan se-arah dengan kecepatan, maka kecepatannya akan meningkat. Jika perubahan percepatannya berlawanan arah dengan kecepatan, maka kecepatannya menurun.

Kolom Diskusi 3.2

Bagilah kelas Anda dalam beberapa kelompok, tiap kelompok dapat terdiri atas 3 sampai 5 anak. Diskusikan hal-hal di bawah ini, presentasikan hasil diskusi di depan kelas secara bergiliran, dan buatlah kesimpulan yang dikumpulkan di meja guru Anda!

1. Apa yang dimaksud percepatan sudut?
2. Apa yang dimaksud dengan percepatan tangensial?
3. Apakah sama antara percepatan tangensial dan percepatan linear?

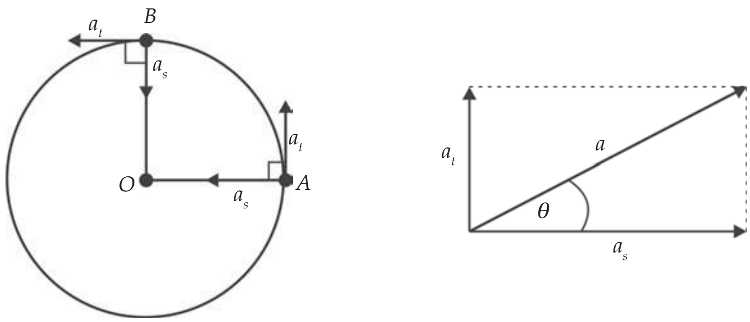
Percepatan Total pada GMBB

Pada gerak melingkar beraturan (GMB), walaupun ada percepatan sentripetal, kecepatan linearnya tidak berubah. Mengapa? Karena percepatan sentripetal tidak berfungsi untuk mengubah kecepatan linear, tetapi untuk mengubah arah gerak partikel sehingga lintasannya berbentuk lingkaran. Pada gerak melingkar berubah beraturan (GMBB), kecepatan linear dapat berubah secara beraturan. Hal ini menunjukkan adanya besaran yang berfungsi untuk mengubah kecepatan. Besaran tersebut adalah *percepatan tangensial* (a_t), yang arahnya dapat sama atau berlawanan dengan arah kecepatan linear. Percepatan tangensial didapat dari percepatan sudut (α) dikalikan dengan jari-jari lingkaran (r).

$$a_t = \alpha \cdot r$$

a_t : percepatan tangensial (m/s^2)
α : percepatan sudut (rad/s^2)
r : jari-jari lingkaran dalam cm atau m

Pada GMBB benda mengalami dua macam percepatan, yaitu percepatan sentripetal (a_s) dan percepatan tangensial (a_t). Percepatan sentripetal selalu menuju ke pusat lingkaran, sedangkan percepatan tangensial menyinggung lingkaran. Percepatan total dalam GMBB adalah jumlah vektor dari kedua percepatan tersebut. Perhatikan Gambar 3.3 berikut!



(a) (b)

Gambar 3.3 *Pada GMBB benda mengalami percepatan sentripetal dan percepatan tangensial.*

Berdasarkan gambar di atas, diketahui bahwa percepatan sentripetal dan percepatan tangensial saling tegak lurus. Oleh karena itu, percepatan totalnya adalah sebagai berikut.

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_s^2}$$

Sedangkan arah percepatan total terhadap arah radial, yaitu θ dapat dihitung dengan perbandingan tangen.

$$\tan\theta = \frac{a_t}{a_s}$$

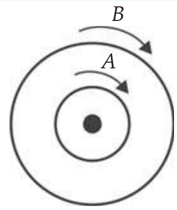
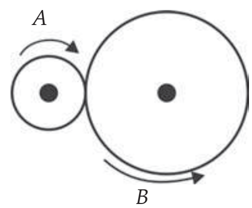
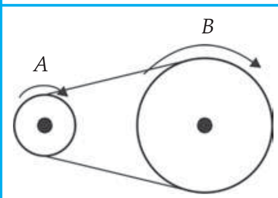
Soal Kompetensi 3.2

1. Jelaskan perbedaan dan peran percepatan sentripetal dan percepatan tangensial pada gerak melingkar!
2. Besaran apa saja yang berubah dan tetap pada GMBB? Sebut dan jelaskan!
3. Sebut dan jelaskan persamaan-persamaan yang berlaku pada GMBB!

C. Hubungan Roda-Roda

Gerak melingkar dapat Anda analogikan sebagai gerak roda sepeda, sistem gir pada mesin, atau katrol. Pada dasarnya ada tiga macam hubungan roda-roda. Hubungan tersebut adalah hubungan antardua roda sepusat, bersinggungan, dan dihubungkan memakai sabuk (tali atau rantai). Untuk jelasnya perhatikan tabel berikut!

Tabel Hubungan Roda-Roda

No	Jenis Hubungan Roda	Gambar	Arah Putar dan Persamaan
1.	Seporos		– Arah putar roda A searah dengan roda B – $\omega_A = \omega_B$ – $\frac{v_A}{R_A} = \frac{v_B}{R_B}$
2.	Bersinggungan		– Arah putar roda A berlawanan arah dengan roda B – $V_A = V_B$ – $\omega_A R_A = \omega_B R_B$ – Jika R_A = jumlah gigi roda A dan n_B = jumlah gigi roda B, maka: $n_A - \omega_B$ $n_B - \omega_A$
3.	Dengan sabuk atau rantai		– Arah putar roda A searah dengan roda B – Kelajuan linear roda A dan B sama – $V_A = V_B$ – $\omega_A R_A = \omega_B R_B$

Kolom Ilmuwan

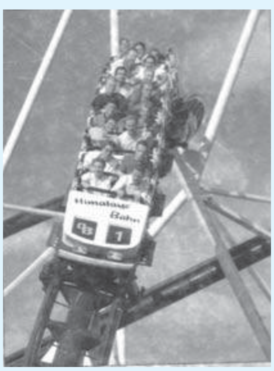
Carilah informasi mengenai aplikasi gerak melingkar di buku-buku, majalah, artikel ilmiah, internet, atau tanyakan pada ahlinya. Buatlah sebuah artikel tentang aplikasi dan manfaat memahami gerak melingkar berdasarkan informasi yang telah Anda kumpulkan. Kumpulkan artikel tersebut di meja guru Anda dan kirimkan juga pada sebuah majalah atau surat kabar yang menyediakan kolom tentang ilmu pengetahuan!

Rangkuman

1. Benda yang bergerak melingkar mengalami perpindahan sudut, kecepatan sudut, dan percepatan sudut.
2. Gerak melingkar beraturan adalah gerak suatu benda yang menempuh lintasan melingkar dengan besar kecepatan tetap.
3. Kecepatan linear pada gerak melingkar dapat ditentukan dengan persamaan $v = 2\pi rf$.
4. Kecepatan sudut merupakan besar sudut yang ditempuh tiap satu satuan waktu atau $\omega = 2\pi f$.
5. Percepatan sentripetal adalah percepatan yang selalu tegak lurus ter-hadap kecepatan linear dan mengarah ke pusat lingkaran.
6. Persamaan percepatan sentripetal adalah $a_s = \frac{v^2}{r}$ atau $a_s = \frac{v^2}{r}$.
7. Hubungan roda-roda ada tiga jenis, yaitu hubungan roda-roda sepusat, bersinggungan, dan memakai sabuk.

Info Kita

Roller Coaster



Sumber: *Fisika untuk Semua*, 2004

Pernahkah Anda bermain ke taman bermain? Di sana mungkin Anda menemukan permainan semacam *roller coaster*. Pernahkah Anda menaikinya? Bagaimana rasanya? Pernahkah Anda berpikir bahwa *roller coaster* menerapkan konsep fisika?

Pada *roller coaster*, penumpang menaiki kendaraan yang tidak bermesin. Kendaraan ini dinaikkan ke puncak bukit pertama dengan menggunakan semacam ban berjalan (*conveyor belt*), seperti pegangan tangan pada tangga berjalan (eskalator). Lintasan naik ini dibuat tidak terlalu curam, karena makin curam lintasan, makin besar daya motor penggerak ban berjalannya (biaya yang dikeluarkan lebih mahal). Puncak bukit pertama dibuat lebih tinggi dari puncak bukit selanjutnya ataupun dari tinggi *loop* (lintasan berbentuk tetes air). Hal ini bertujuan agar kendaraan memiliki energi potensial yang cukup besar sehingga mampu melintasi seluruh lintasan dengan baik.

Ketika meluncur dari bukit pertama, penumpang dilepas dan jatuh bebas dipercepat. Agar efek jatuh bebas ini dapat lebih dirasakan, lintasan luncuran dibuat berbentuk seperti sebuah parabola (lintasan benda di bawah medan gravitasi). Gerakan turun dipercepat ini membuat jantung dan alat-alat tubuh sedikit terangkat dari tempatnya semula (inersia). Efek inersia inilah yang memberikan efek-efek tertentu seperti rasanya mau terbang, rasa mual, dan jantung berdesir.

Memasuki *loop*, penumpang dihadapkan pada loop yang seperti tetes cair. Loop tidak dibuat seperti lingkaran penuh karena pada titik terendah loop yang berbentuk lingkaran penumpang akan mengalami bobot 6 kali bobot semula. Bobot sebesar ini membahayakan penumpang karena darah tidak mampu mengalir ke otak, mata berkunang-kunang, dan pingsan. Di puncak loop, penumpang tidak akan jatuh karena gaya sentrifugal yang dirasakan mampu mengimbangi gaya berat akibat tarikan gravitasi bumi.

Gaya sentrifugal juga dirasakan penumpang saat melintasi belokan-belokan tajam yang dibuat sepanjang lintasan. Saat penumpang berbelok ke kanan, penumpang akan terlempar ke kiri. Sebaliknya, ketika *roller coaster* berbelok ke kiri, penumpang akan terlempar ke kanan. Penumpang akan terlempar lebih keras jika berpegang erat-erat pada batang pengaman. Oleh karena itu, penjaga taman hiburan biasanya menyarankan penumpang untuk membiarkan tangannya bebas sambil berteriak-teriak agar lebih nyaman.

(Dikutip seperlunya dari Fisika untuk Semua, *Yohanes Surya, 2004)*

P e l a t i h a n

A. Pilihlah jawaban yang benar dengan menuliskan huruf a, b, c, d, atau e di buku tugas Anda!

1. Sebuah benda yang melakukan gerak melingkar memiliki ....
   a. kecepatan tetap
   b. kelajuan tetap
   c. kecepatan yang arahnya menjauhi pusat lingkaran
   d. kelajuan yang arahnya menjauhi pusat lingkaran
   e. percepatan tetap

2. Jika sebuah roda katrol berputar 60 putaran tiap dua menit, maka frekuensi dan kecepatan sudut roda adalah ....
   a. 0,5 Hz dan 6,28 rad s^{-1}
   b. 0,5 Hz dan 3,14 rad s^{-1}
   c. 0,8 Hz dan 6,28 rad s^{-1}
   d. 0,8 Hz dan 3,14 rad s^{-1}
   e. 1 Hz dan 3,14 rad s^{-1}
3. Sebuah benda melakukan gerak melingkar beraturan sebanyak 300 putaran tiap menit. Jika diameter lingkaran 80 cm, maka percepatan sentripetal benda tersebut adalah ....
   a. $10\ \pi^2$
   b. $20\ \pi^2$
   c. $30\ \pi^2$
   d. $40\ \pi^2$
   e. $50\ \pi^2$
4. Sebuah lubang angin pada ban mobil berputar 300 rpm. Jika jarak lubang angin tersebut dari pusat ban 0,5 m, maka kecepatan linearnya adalah ....
   a. $5\ \pi\ \text{ms}^{-1}$
   b. $10\ \pi\ \text{ms}^{-1}$
   c. $15\ \pi\ \text{ms}^{-1}$
   d. $20\ \pi\ \text{ms}^{-1}$
   e. $25\ \pi\ \text{ms}^{-1}$
5. Sebuah titik bergerak melingkar beraturan dengan jari-jari lingkaran 50 cm dan melakukan 12 putaran dalam 6 menit. Frekuensi dan kecepatan linear titik tersebut adalah ....
   a. $\frac{1}{30}$ Hz dan $\frac{1}{30}\pi\ \text{ms}^{-1}$
   b. $\frac{1}{30}$ Hz dan $\frac{1}{40}\pi\ \text{ms}^{-1}$
   c. $\frac{1}{40}$ Hz dan $\frac{1}{30}\pi\ \text{ms}^{-1}$
   d. $\frac{1}{40}$ Hz dan $\frac{1}{40}\pi\ \text{ms}^{-1}$
   e. $\frac{1}{20}$ Hz dan $\frac{1}{30}\pi\ \text{ms}^{-1}$
6. Sebuah roda mula-mula berputar dengan kecepatan sudut 20 rad s^{-1}. Jika roda tersebut berhenti setelah 4 detik, maka besarnya perlambatan yang harus diberikan pada roda tersebut adalah ....
   a. -6 rad s^{-2}
   b. -5 rad s^{-2}
   c. -4 rad s^{-2}
   d. -3 rad s^{-2}
   e. -2 rad s^{-2}
7. Sebuah satelit komunikasi mengorbit di atas permukaan bumi pada ketingian 600 km. Jika waktu yang diperlukan satelit tersebut untuk menempuh satu kali putaran adalah 1,5 jam, maka kecepatan satelit tersebut adalah ....
   a. 689 ms^{-1}
   b. 698 ms^{-1}
   c. 989 ms^{-1}
   d. 896 ms^{-1}
   e. 889 ms^{-1}

8. Sebuah elektron bergerak mengelilingi proton dalam orbit melingkar dengan kecepatan $2,18 \times 10^6$. Jika jari-jari orbit elektron sebesar $5,29 \times 10^{-11}$ m, maka percepatan yang dialami elektron tersebut adalah ....
   a. $7,98 \times 10^{22}$ ms^2
   b. $7,98 \times 10^{12}$ ms^2
   c. $8,98 \times 10^{22}$ ms^2
   d. $8,98 \times 10^{12}$ ms^2
   e. $7,98 \times 10^{32}$ ms^2
9. Sebuah benda melakukan gerak melingkar beraturan sebanyak 300 putaran tiap menit. Jika diameter lingkaran 80 cm, maka percepatan sentripetal benda tersebut adalah ....
   a. $10\ \pi^2\ ms^{-2}$
   b. $20\ \pi^2\ ms^{-2}$
   c. $30\ \pi^2\ ms^{-2}$
   d. $40\ \pi^2\ ms^{-2}$
   e. $50\ \pi^2\ ms^{-2}$
10. Terdapat tiga buah roda A, B, dan C yang memiliki jari-jari berturut-turut 25 cm, 15 cm, dan 40 cm. Roda A dab B dihubungkan oleh rantai, sedangkan roda B dan C seporos. Jika roda C memerlukan waktu 2 menit untuk menempuh 120 putaran, maka kecepatan sudut roda A dan B adalah ....
   a. $2\pi\ rads^{-1}$ dan $1,2\pi\ rads^{-1}$
   b. $2\pi\ rads^{-1}$ dan $2\pi\ rads^{-1}$
   c. $1,2\pi\ rads^{-1}$ dan $2\pi\ rads^{-1}$
   d. $1,2\pi\ rads^{-1}$ dan $1,2\pi\ rads^{-1}$
   e. $2\pi\ rads^{-1}$ dan $2,2\pi\ rads^{-1}$

B. Kerjakan soal-soal berikut dengan benar!

1. Sebuah partikel bergerak melingkar dengan kecepatan linear 10 m/s. Jika jari-jari lingkaran tersebut 34 cm, maka tentukan kecepatan sudut partikel tersebut!
2. Titik bersepeda dengan kecepatan 18 km/jam. Saat melewati sebuah tikungan yang berjari-jari 100 cm, Titik mengerem dan mengurangi kecepatannya 2 m/s tiap detiknya. Tentukan besar dan arah percepatan total yang dialami Titik!
3. Haryo memutar sebuah batu yang diikat pada seutas tali secara horizontal di atas kepalanya. Jika kecepatan linear batu dijadikan 2 kali semula, maka tentukan gaya sentripetal batu tersebut!
4. Jika bulan yang berjari-jari 382. 000 km memerlukan waktu 27,3 hari untuk mengelilingi bumi, maka tentukan percepatan sentripetal bulan tersebut!
5. Roda gigi A dan B yang memiliki jari-jari 6 cm dan 4 cm saling bersinggungan. Jika frekuensi roda gigi A 8 hz, maka hitunglah kecepatan sudut roda gigi A dan B!



Bab IV

Dinamika Partikel

Tujuan Pembelajaran

- *Anda dapat menerapkan hukum Newton sebagai prinsip dasar dinamika untuk gerak lurus, gerak vertikal, dan gerak melingkar beraturan.*



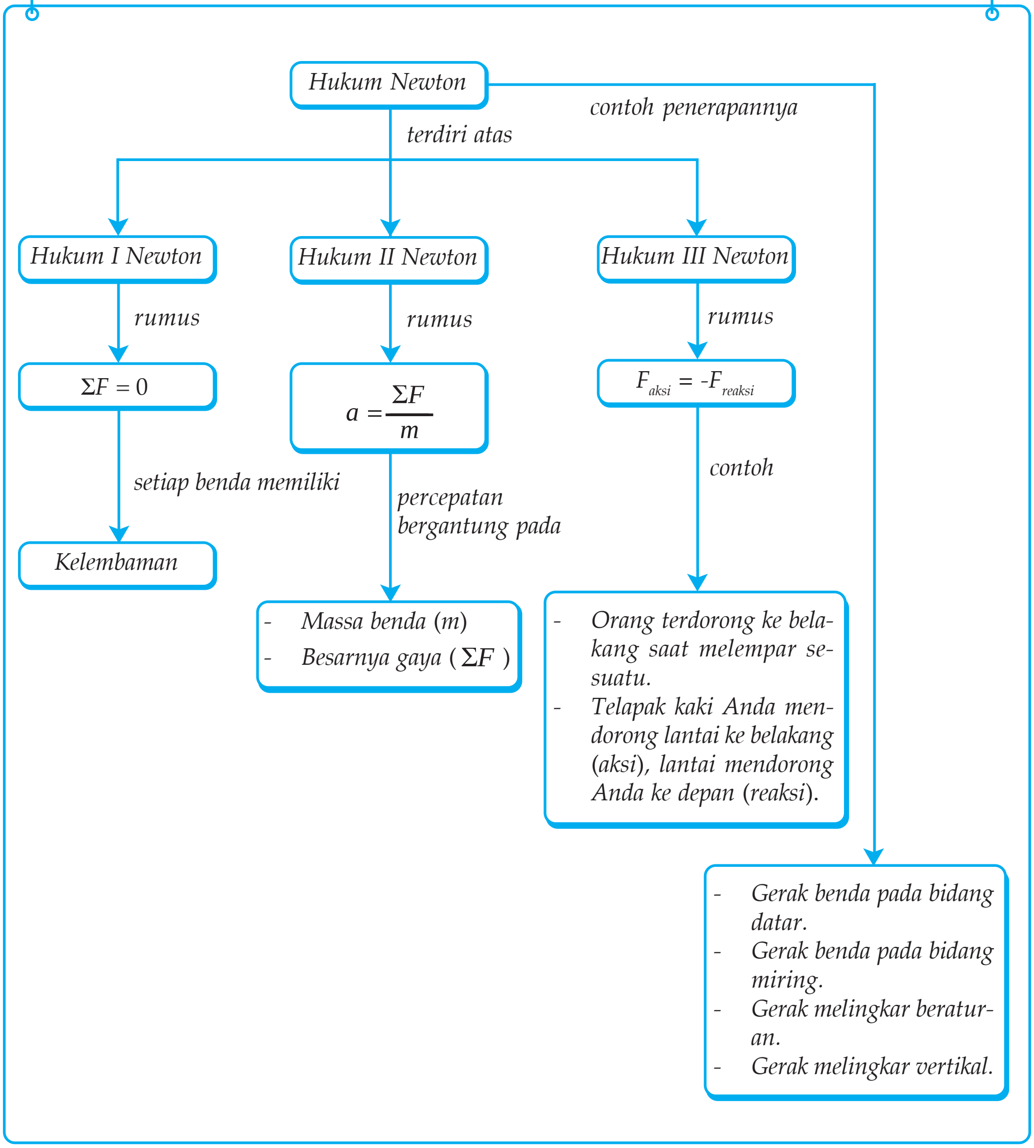
Sumber: CD Cliptart

Pernahkah Anda menyaksikan lomba dayung atau kano seperti gambar di atas? Untuk menjalankan perahu, para pendayung memanfaatkan hukum ketiga Newton. Pada waktu mengayunkan dayung, pendayung mendorong air ke belakang. Gaya ke belakang pada air tersebut (aksi) menghasilkan gaya yang sama tetapi berlawanan arah (reaksi). Gaya (reaksi) ini menggerakkan perahu ke depan. Dapatkah Anda menganalisis mengapa dayung dibuat memiliki lengan yang panjang? (Petter Lafferty, 2000)

Kata Kunci

- Berat
- Inersia
- Massa
- Newton
- Gaya Gesekan Kinetis
- Gaya Gesekan Statis
- Gaya Normal
- Gaya Gravitasi
- Gerak Melingkar Vertikal
- Kelembaman
- Pasangan Aksi-Reaksi
- Gaya Sentripetal

Peta Konsep



Hukum Newton
contoh penerapannya
terdiri atas
Hukum I Newton
Hukum II Newton
Hukum III Newton
rumus
rumus
rumus
ΣF = 0
a = ΣF/m
F aksi = -F reaksi
setiap benda memiliki
percepatan bergantung pada
contoh
Kelembaman
- Massa benda (m)
- Besarnya gaya (ΣF)
- Orang terdorong ke belakang saat melempar sesuatu.
- Telapak kaki Anda mendorong lantai ke belakang (aksi), lantai mendorong Anda ke depan (reaksi).
- Gerak benda pada bidang datar.
- Gerak benda pada bidang miring.
- Gerak melingkar beraturan.
- Gerak melingkar vertikal.

Kajian tentang gerak benda merupakan bagian penting dari penggambaran alam semesta. Sejak zaman dahulu manusia berusaha menyingkap rahasia tentang gerak benda. Mulai dari masa Aristoteles sampai masa Galileo dan Newton, pemahaman gerak mengalami perkembangan yang signifikan.

Di SMP Anda telah mempelajari sesuatu yang menyebabkan benda bergerak, yaitu gaya. Gaya dapat mempercepat atau memperlambat kelajuan gerak benda. Gaya juga dapat mengubah arah gerak benda.

Pada bab 2 dan 3, Anda telah mempelajari tentang gerak lurus dan gerak melingkar tanpa memedulikan penyebabnya (kinematika). Ilmu yang mempelajari tentang gerak dengan memperhatikan penyebabnya di sebut *dinamika*. Pada bab IV ini Anda akan mempelajari tentang hukum-hukum Newton, jenis-jenis gaya, serta dinamika gerak lurus dan melingkar.

Kolom Diskusi 4.1

Anda telah mempelajari ketiga hukum Newton dan menyebutkan contohnya dalam kehidupan sehari-hari saat duduk di bangku SMP. Sekarang bagilah kelas Anda menjadi beberapa kelompok. Diskusikan dengan anggota kelompok Anda, mengenai hukum-hukum Newton. Diskusikan juga contohnya dalam kehidupan sehari-hari. Presentasikan hasil diskusi di depan kelas secara bergantian, kemudian buatlah kesimpulan yang dikumpulkan di meja guru Anda!

A. Hukum-Hukum Newton

Pembahasan tentang hukum-hukum Newton dan pemahaman konsep secara kualitatifnya telah Anda dapatkan di SMP. Hukum-hukum tersebut membahas tentang hubungan antara gerak benda dan gaya. Di sini Anda akan mengkaji kembali ketiga hukum Newton tersebut dan mengaplikasikannya pada persoalan-persoalan dinamika sederhana.

1. Hukum Newton I

Pada zaman dahulu, orang percaya bahwa alam ini bergerak dengan sendirinya. Tidak ada sesuatu pun yang menggerakkannya. Mereka menyebutnya dengan *gerak alami*. Di lain sisi, untuk benda yang jelas-jelas digerakkan, mereka menamakan *gerak paksa*. Teori yang dipelopori oleh Aristoteles ini terbukti salah saat Galileo dan Newton mengemukakan pendapat mereka.

Galileo mematahkan teori Aristoteles dengan sebuah percobaan sederhana. Ia membuat sebuah lintasan lengkung licin yang digunakan untuk menggelindingkan sebuah bola. Satu sisi dari lintasan tersebut diubah-

ubah kemiringannya. Setelah mengamati, Galileo menyatakan " Jika gaya gesek pada benda tersebut ditiadakan, maka benda tersebut akan terus bergerak tanpa memerlukan gaya lagi".

Teori Galileo dikembangkan oleh Isaac Newton. Newton mengatakan bahwa " *Jika resultan gaya pada suatu benda sama dengan nol, maka benda yang diam akan tetap diam dan benda yang bergerak akan tetap bergerak dengan kecepatan tetap*". Kesimpulan Newton tersebut dikenal sebagai hukum I Newton. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\Sigma F = 0$$

Berdasarkan hukum I Newton, dapatlah Anda pahami bahwa suatu benda cenderung mempertahankan keadaannya. Benda yang mula-mula diam akan mempertahankan keadaan diamnya, dan benda yang mula-mula bergerak akan mempertahankan geraknya. Oleh karena itu, hukum I Newton juga sering disebut sebagai *hukum kelembaman* atau *hukum inersia.*

Ukuran kuantitas kelembaman suatu benda adalah massa. Setiap benda memiliki tingkat kelembaman yang berbeda-beda. Makin besar massa suatu benda, makin besar kelembamannya. Saat mengendarai sepeda motor Anda bisa langsung memperoleh kelajuan besar dalam waktu singkat. Namun, saat Anda naik kereta, tentu memerlukan waktu yang lebih lama untuk mencapai kelajuan yang besar. Hal itu terjadi karena kereta api memiliki massa yang jauh lebih besar daripada massa sepeda motor.

Setiap hari Anda mengalami hukum I Newton. Misalnya, saat kendaraan yang Anda naiki direm secara mendadak, maka Anda akan terdorong ke depan dan saat kendaraan yang Anda naiki tiba-tiba bergerak, maka Anda akan terdorong ke belakang.

Kegiatan

Kelembaman

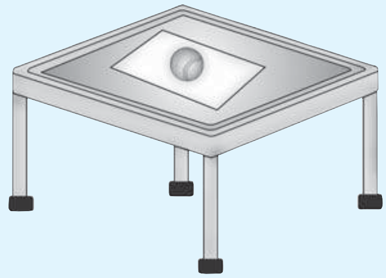
A. Tujuan

Anda dapat mengamati dan mendefinisikan arti kelembaman.

B. Alat dan Bahan

1. Bola tenis
2. Selembar kertas
3. Sebuah meja dengan permukaan halus

C. **Langkah Kerja**



1. Letakkan selembar kertas di atas meja, kemudian letakkan bola tenis di atas kertas!
2. Tariklah kertas secara perlahan-lahan!
3. Ulangi langkah kerja nomor 2, tetapi tarik kertas dengan cepat!
4. Ulangi langkah nomor dua, tetapi kertas ditarik secara perlahan-lahan dan hentikan secara mendadak!

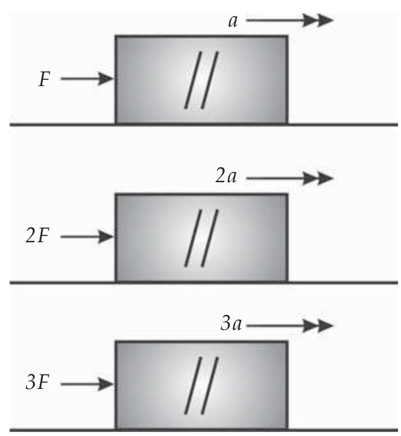
D. **Pertanyaan**

1. Apa yang terjadi pada bola tenis saat kertas ditarik secara perlahan-lahan, cepat, dan perlahan-lahan kemudian di hentikan?
2. Kesimpulan apa yang Anda peroleh dari peragaan teman Anda di depan kelas tersebut!

2. Hukum II Newton

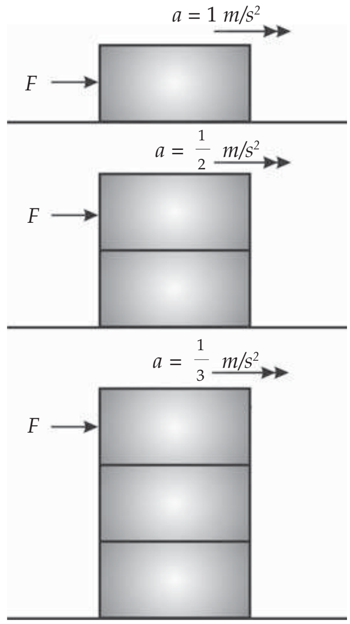
Hukum I Newton hanya membahas benda yang tidak dikenai gaya dari luar, artinya benda tidak mengalami percepatan. Bagaimana jika suatu benda mendapat gaya dari luar atau pada benda tersebut bekerja beberapa gaya yang resultannya tidak sama dengan nol? Pada kondisi ini benda mengalami perubahan percepatan.

Misalkan Anda mendorong sebuah kotak di atas lantai licin (gaya gesek diabaikan) dengan gaya F, ternyata dihasilkan percepatan sebesar a. Saat gaya dorong terhadap kotak Anda perbesar menjadi dua kali semula (2F), ternyata percepatan yang dihasilkan juga dua kali semula (2a). Ketika gaya dorong Anda tingkatkan menjadi tiga kali semula (3F), ternyata percepatan yang dihasilkan juga menjadi tiga kali semula (3a). Jadi, dapat disimpulkan bahwa percepatan berbanding lurus dengan besarnya resultan gaya yang bekerja pada suatu benda (a ~ f).



Gambar 4.1 *Menyelidiki pengaruh resultan gaya terhadap percepatan, dengan gaya diubah-ubah dan menjaga massa tetap.*

Sekarang, taruhlah sebuah kotak (dengan massa sama) di atas kotak yang tadi Anda dorong (massa kotak menjadi 2 kali semula (2m)). Ternyata dengan gaya F dihasilkan percepatan yang besarnya setengah percepatan semula ($\frac{1}{2}$ a). Kemudian tambahkan lagi sebuah kotak (dengan massa sama) di atas kotak yang tadi Anda dorong (massa menjadi 3 kali semula). Ternyata dengan gaya F dihasilkan percepatan yang besarnya sepertiga percepatan semula ($\frac{1}{3}$ a). Jadi, dapat disimpulkan bahwa percepatan berbanding terbalik dengan massa benda $\left(a \sim \frac{1}{m}\right)$.



Gambar 4.2 *Menyelidiki pengaruh resultan gaya terhadap percepatan, dengan menjaga gaya tetap dan massa diubah-ubah.*

Berdasarkan dua kesimpulan tersebut Newton menggabungkannya menjadi sebuah pernyataan, yang dikenal dengan hukum II Newton, yaitu "*Percepatan yang dihasilkan oleh resultan gaya yang bekerja pada suatu benda berbanding lurus dengan resultan gaya, dan berbanding terbalik dengan massa benda*". Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{matrix} a \sim f \\ a \sim \dfrac{1}{m} \end{matrix} \quad \Rightarrow a = \frac{\Sigma F}{m} \text{ atau } \Sigma F = m \times a$$

Keterangan:

a : percepatan benda (ms^{-2})

ΣF : resultan gaya yang bekerja pada benda (N)

m : massa benda (kg)

Contoh 4.1

Sebuah truk dapat menghasilkan gaya sebesar 7.000 N. Jika truk tersebut dapat bergerak dengan percepatan 3,5 m/s, maka tentukan massa truk tersebut!

Diketahui : a. ΣF = 7.000 N

b. a = 3,5 m/s

Ditanyakan: m = ...?

Jawab :

$$a = \frac{\Sigma F}{m} \Rightarrow m = \frac{\Sigma F}{a}$$

$$= \frac{7.000}{3,5}$$

= 2.000 kg = 2 ton

Jadi, massa truk tersebut adalah 2 ton.

3. Hukum III Newton

Perhatikan Gambar 4.3! Berkerutnya muka atlet tersebut menunjukkan bahwa suatu kegiatan dapat melibatkan gaya yang besar meskipun tidak ada gerak. Gaya yang dikeluarkan atlet untuk mengangkat beban ke atas menyebabkan timbulnya gaya ke bawah. Gaya ke bawah tersebut diteruskan ke lantai melalui tubuh atlet. Lantai yang mendapatkan gaya tekan, membalas dengan menekan ke atas dengan gaya yang besarnya sama. Seandainya lantai memberikan gaya ke atas lebih kecil daripada gaya yang diterimanya, maka si atlet akan terperosok melalui lantai tersebut. Jika lantai memberikan gaya yang lebih besar daripada gaya yang diterimanya, maka atlet tersebut akan terangkat ke udara (Petter Lafferty, 2000).



Sumber: Jendela Iptek: Gaya & Gerak

Gambar 4.3 *Angkat besi.*

Kejadian-kejadian seperti Gambar 4.3 diperhatikan betul oleh Newton. Newton menyatakan bahwa suatu gaya yang bekerja pada sebuah benda selalu berasal dari benda lain. Artinya, tidak ada gaya yang hanya melibatkan satu benda. Gaya yang hadir sedikitnya membutuhkan dua benda yang saling berinteraksi. Pada interaksi ini gaya-gaya selalu berpasangan. Jika A mengerjakan gaya pada B (aksi), maka B akan mengerjakan gaya pada A (reaksi). Pasangan gaya inilah yang terkenal dengan pasangan aksi reaksi.

Di SMP Anda telah mengetahui bahwa gaya aksi dan reaksi besarnya sama tetapi arahnya berlawanan. Pasangan gaya aksi reaksi ini dijelaskan Newton dalam hukum ketiganya. Bunyi hukum III Newton adalah sebagai berikut "*Jika benda A mengerjakan gaya pada benda B, maka benda B akan mengerjakan gaya pada benda A, yang besarnya sama tetapi arahnya*

berlawanan". Hukum ini biasanya juga dinyatakan sebagai berikut *"Untuk setiap aksi, ada suatu reaksi yang sama besar tetapi berlawanan arah"*. Secara matematis hukum III Newton dapat di tulis sebagai berikut.

$$F_{aksi} = -F_{reaksi}$$

Contoh lain yang menunjukkan gaya aksi reaksi adalah ketika Anda berjalan di atas lantai. Saat berjalan, kaki Anda menekan lantai ke belakang (aksi). Sebagai reaksi, lantai mendorong telapak kaki Anda ke depan sehingga Anda dapat berjalan. Pernahkah Anda memperhatikan tank yang sedang menembak? Pada saat menembakkan peluru, tank mendorong peluru ke depan (aksi). Sebagai reaksi, peluru mendorong tank ke belakang sehingga tank terdorong ke belakang. Gaya aksi-reaksi inilah yang menyebabkan tank terlihat tersentak ke belakang sesaat setelah memuntahkan peluru.



Sumber: Foto Haryana

Gambar 4.4 *Gaya aksi-reaksi.*

Soal Kompetensi 4.1

1. Carilah contoh dari peristiwa yang sering Anda temui yang menunjukkan berlakunya hukum Newton I, II, dan III, masing-masing lima!
2. Mengapa mobil yang lebih kecil (massanya kecil) membutuhkan bensin lebih sedikit daripada mobil yang lebih besar (massanya besar)? Jelaskan dengan konsep hukum Newton!
3. Peragakan sebuah kegiatan sederhana di depan kelas yang menunjukkan berlakunya hukum III Newton!

Tokoh



Sumber: Jendela Iptek, Gaya dan Gerak

Isaac Newton
(1643 – 1727)

Sir Isaac Newton adalah ilmuwan terbesar sepanjang abad. Newton adalah seorang ahli matematika, astronomi, fisika, filsafat, guru besar, dan banyak gelar lainnya. Ia menemukan hukum gravitasi, hukum gerak, kalkulus, teleskop pantul, dan spektrum. Bukunya yang terkenal berjudul *Principa* dan *Optika*.

Newton lahir di kota Woolsthorpe pada tahun 1643. Masa kecil Newton cukup menyedihkan. Beberapa bulan sebelum ia lahir, ayahnya meninggal. Ayahnya adalah seorang petani. Pada umur 22 tahun, Newton dapat menyelesaikan kuliahnya dan berhasil mendapat gelar Sarjana Muda.

Pada suatu hari Newton berjalan-jalan di kebun sambil berpikir mengapa bulan bergerak mengelilingi bumi. Kemudian ia beristirahat di bawah pohon apel. Tak lama berselang ia melihat buah apel jatuh dari pohonnya. Setelah mengamati jatuhnya buah apel, Newton sadar bahwa gaya gravitasi yang menariknya buah apel tersebut, dan gaya itu jugalah yang menarik bulan sehingga tetap dalam orbitnya mengelilingi bumi. Hukum gravitasi universal pun terungkap, hukum tersebut berbunyi "Besarnya gaya gravitasi antara dua massa ber-banding lurus dengan hasil kali kedua massa dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara pusat-pusat kedua massa itu".

(Dikutip seperlunya dari 100 Ilmuwan, *John Hudson Tiner, 2005)*

B. Jenis-Jenis Gaya

Gaya merupakan dorongan atau tarikan yang akan mempercepat atau memperlambat gerak suatu benda. Pada kehidupan sehari-hari gaya yang Anda kenal biasanya adalah gaya langsung. Artinya, sesuatu yang memberi gaya berhubungan langsung dengan yang dikenai gaya. Selain gaya langsung, juga ada gaya tak langsung. Gaya tak langsung merupakan gaya yang bekerja di antara dua benda tetapi kedua benda tersebut tidak bersentuhan. Contoh gaya tak langsung adalah gaya gravitasi. Pada subbab ini Anda akan mempelajari beberapa jenis gaya, antara lain, gaya berat, gaya normal, gaya gesekan, dan gaya sentripetal.



Sumber: Foto Haryana

Gambar 4.5 *Saat bersepeda, kita memberikan gaya langsung terhadap sepeda.*

1. Gaya Berat

Pada kehidupan sehari-hari, banyak orang yang salah mengartikan antara massa dengan berat. Misalnya, orang mengatakan "Doni memiliki berat 65 kg". Pernyataan orang tersebut keliru karena sebenarnya yang dikatakan orang tersebut adalah massa Doni. Anda harus dapat membedakan antara massa dan berat.

Massa merupakan ukuran banyaknya materi yang dikandung oleh suatu benda. Massa (m) suatu benda besarnya selalu tetap dimanapun benda tersebut berada, satuannya kg. Berat (w) merupakan gaya gravitasi bumi yang bekerja pada suatu benda. Satuan berat adalah Newton (N).

Hubungan antara massa dan berat dijelaskan dalam hukum II Newton. Misalnya, sebuah benda yang bermassa m dilepaskan dari ketinggian tertentu, maka benda tersebut akan jatuh ke bumi. Jika gaya hambatan udara diabaikan, maka gaya yang bekerja pada benda tersebut hanyalah gaya gravitasi (gaya berat benda). Benda tersebut akan mengalami gerak jatuh bebas dengan percepatan ke bawah sama dengan percepatan gravitasi. Jadi, gaya berat (w) yang dialami benda besarnya sama dengan perkalian antara massa (m) benda tersebut dengan percepatan gravitasi (g) di tempat itu. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$w = m \times g$$

Keterangan :

w : gaya berat (N)

m : massa benda (kg)

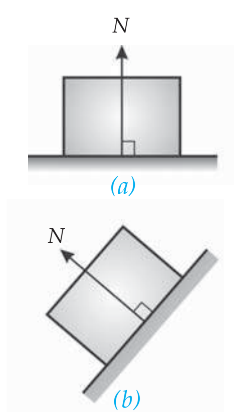
g : percepatan gravitasi (ms^{-2})

2. Gaya Normal

Anda ketahui bahwa benda yang dilepaskan pada ketinggian tertentu akan jatuh bebas. Bagaimana jika benda tersebut di letakkan di atas meja, buku misalnya? Mengapa buku tersebut tidak jatuh? Gaya apa yang menahan buku tidak jatuh?

Gaya yang menahan buku agar tidak jatuh adalah gaya tekan meja pada buku. Gaya ini ada karena permukaan buku bersentuhan dengan permukaan meja dan sering disebut gaya normal. *Gaya normal* (N) adalah gaya yang bekerja pada bidang yang bersentuhan antara dua permukaan benda, yang arahnya selalu tegak lurus dengan bidang sentuh. Jadi, pada buku terdapat dua gaya yang bekerja, yaitu gaya normal (N) yang berasal dari meja dan gaya berat (w). Kedua gaya tersebut besarnya sama tetapi berlawanan arah, sehingga membentuk keseimbangan pada buku.

Ingat, gaya normal selalu tegak lurus arahnya dengan bidang sentuh. Jika bidang sentuh antara dua benda adalah horizontal, maka arah gaya normalnya adalah vertikal. Jika bidang sentuhnya vertikal, maka arah gaya normalnya adalah horizontal. Jika bidang sentuhya miring, maka gaya normalnya juga akan miring. Perhatikan Gambar 4.6!



Gambar 4.6 *Arah gaya normal selalu tegak lurus dengan permukaan bidang.*

3. Gaya Gesekan

Jika Anda mendorong sebuah almari besar dengan gaya kecil, maka almari tersebut dapat dipastikan tidak akan bergerak (bergeser). Jika Anda mengelindingkan sebuah bola di lapangan rumput, maka setelah menempuh jarak tertentu bola tersebut pasti berhenti. Mengapa hal-hal tersebut dapat terjadi? Apa yang menyebabkan almari sulit di gerakkan dan bola berhenti setelah menempuh jarak tertentu?

Gaya yang melawan gaya yang Anda berikan ke almari atau gaya yang menghentikan gerak bola adalah gaya gesek. *Gaya gesek* adalah gaya yang bekerja antara dua permukaan benda yang saling bersentuhan. Arah gaya gesek berlawanan arah dengan kecenderungan arah gerak benda.

Untuk benda yang bergerak di udara, gaya geseknya bergantung pada luas permukaan benda yang bersentuhan dengan udara. Makin besar luas bidang sentuh, makin besar gaya gesek udara pada benda tersebut sedangkan untuk benda padat yang bergerak di atas benda padat, gaya geseknya tidak tergantung luas bidang sentuhnya.

Kolom Diskusi 4.2

Di SMP Anda telah mempelajari mengenai gaya gesek. Diskusikan dengan teman sebangku Anda tentang manfaat dan kerugian adanya gaya gesek. Buatlah kesimpulan dari diskusi tersebut dan kumpulkan di meja guru!

Gaya gesekan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu gaya gesekan statis dan gaya gesekan kinetis. Gaya gesek statis (f_s) adalah gaya gesek yang bekerja pada benda selama benda tersebut masih diam. Menurut hukum I Newton, selama benda masih diam berarti resultan gaya yang bekerja pada benda tersebut adalah nol. Jadi, selama benda masih diam gaya gesek statis selalu sama dengan yang bekerja pada benda tersebut. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$f_{s,maks} = \mu_s N$$

Keterangan:

f_s : gaya gesekan statis maksimum (N)

μ_s : koefisien gesekan statis

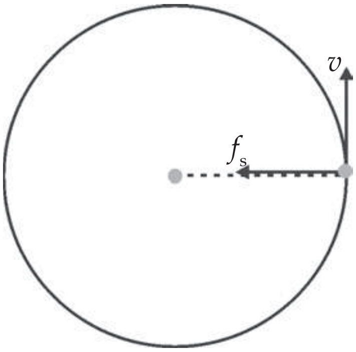
Gaya gesek kinetis (f_k) adalah gaya gesek yang bekerja pada saat benda dalam keadaan bergerak. Gaya ini termasuk *gaya dissipatif*, yaitu gaya dengan usaha yang dilakukan akan berubah menjadi kalor. Perbandingan antara gaya gesekan kinetis dengan gaya normal disebut koefisien gaya gesekan kinetis (m_s). Secara matematis dapat di tulis sebagai berikut.

$$f_k = \mu_k N$$

Keterangan:
f_k : gaya gesekan kinetis (N)
μ_k : koefisien gesekan kinetis

4. Gaya Sentripetal

Pada bab 3 Anda telah mengetahui bahwa benda yang mengalami gerak melingkar beraturan mengalami percepatan sentripetal. Arah percepatan sentripetal selalu menuju ke pusat lingkaran dan tegak lurus dengan vektor kecepatan. Menurut hukum II Newton, percepatan ditimbulkan karena adanya gaya. Oleh karena itu, percepatan sentripetal ada karena adanya gaya yang menimbulkannya, yaitu gaya sentripetal. Pada hukum II Newton dinyatakan bahwa gaya merupakan perkalian antara massa benda dan percepatan yang dialami benda tersebut. Sesuai hukum tersebut, hubungan antara percepatan sentripetal, massa benda, dan gaya sentripetal dapat dituliskan sebagai berikut.



Gambar 4.7 Gaya sentripetal.

$$F_s = m \times a_s, \text{ karena } a_s = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r \text{ maka}$$

$$F_s = m\frac{v^2}{r} = m\omega^2 r$$

Keterangan:
F_s : gaya sentripetal (N)
m : massa benda (kg)
v : kecepatan linear (m/s)
r : jari-jari lingkaran (m)
ω : kecepatan sudut

Gaya sentripetal pada gerak melingkar berfungsi untuk merubah arah gerak benda. Gaya sentripetal tidak mengubah besarnya kelajuan benda. Setiap benda yang mengalami gerak melingkar pasti memerlukan gaya sentripetal. Misalnya, planet-planet yang mengitari matahari, elektron yang mengorbit inti atom, dan batu yang diikat dengan tali dan diputar.

Info Kita

Gerak Penari Balet



Sumber: CD Clipart

Pada bulan April 1999 diadakan pertemuan fisika terbesar abad 20 bertempat di World Congress Building, Atlanta, AS. Dalam pertemuan itu digelar ratusan tema-tema seminar seperti mekanika klasik, laser, fisika nuklir hingga fisika abad 21. Tema seminar yang menjadi pusat perhatian banyak pengunjung adalah *Physics of Dance*. Dalam seminar ini membahas penerapan hukum fisika pada gerakan balet yang menghasilkan sesuatu yang berguna, mengejutkan, dan mendorong orang lebih menghargai balet.

Sebagian besar gerakan tarian balet menerapkan hukum kelembaman. Gerakan-gerakan ini antara lain diam seimbang, bergerak, melompat, dan berputar. Untuk lebih memperjelas penerapan hukum kelembaman pada gerakan balet, pada seminar itu didatangkan seorang balerina yang memeragakan tarian balet.

Diam Seimbang

Seorang balerina memulai tariannya dengan berjinjit seimbang di atas satu kaki, kaki yang lain terangkat ke belakang, dan tangan terangkat ke atas. Menurut hukum keseimbangan, posisi berdiri di atas daerah kecil bisa tercapai jika pusat berat balerina tepat di atas titik tumpunya. Tetapi ketika posisi pusat berat balerina menyimpang dari posisi seimbang, maka gaya gravitasi akan membuat balerina terpelanting dalam waktu yang relatif singkat.

Bergerak

Setelah melakukan gerak diam seimbang, seorang balerina akan bergerak. Ketika balerina bergerak maju, yang ia lakukan adalah menekan lantai dengan kakinya ke arah belakang. Pada saat men-

dapat tekanan, lantai bereaksi dan mendorong kaki balerina dengan gaya yang sama besar ke arah depan sehingga balerina bergerak maju. Makin keras kaki balerina menekan lantai, makin cepat balerina bergerak maju. Konsep ini juga kita gunakan pada waktu berjalan.

Ketika penari sedang bergerak ke depan, bisakah ia membelok atau bergerak melingkar? Menurut Newton, benda yang bergerak lurus akan membelok jika ada gaya ke samping. Bagaimana memperoleh gaya ke samping? Seorang balerina mengetahui cara memperoleh gaya ke samping. Ketika balerina akan membelok ke kanan, kakinya akan menekan lantai ke kiri. Lantai akan memberikan reaksi dan menekan balerina ke kanan sehingga lintasannya berbelok ke kanan. Makin keras balerina menekan lantai, makin tajam belokannya.

Melompat

Untuk melakukan gerak melompat, balerina menekan kakinya pada lantai secara vertikal. Dengan memberikan tekanan pada lantai, lantai memberikan reaksi dengan mendorong kaki balerina ke atas. Jika ingin mendapatkan lompatan yang lebih tinggi, maka pada saat melompat lututnya ditekuk. Di sini tekukan lutut bertindak seperti pegas yang tertekan, siap melontarkan benda yang menekannya.

Berputar

Untuk melakukan gerak berputar, balerina menggerakkan ujung sepatu depan dan belakang ke samping berlawanan. Lantai akan memberikan reaksi dengan memberikan gaya yang berlawanan pada kedua ujung sepatu. Ketika sudah berputar, balerina dapat mengatur kecepatan putarnya dengan mengatur besar momen kelembamannya. Momen kelembamannya merupakan kecenderungan benda untuk mempertahankan posisinya untuk tidak ikut berputar.

Mengasyikkan sekali bukan? Ternyata balet yang kata orang lebih banyak menggunakan perasaan dapat dianaslisis secara fisika. Nah, alangkah indahnya jika ada fisikawan Indonesia yang mau mengabdikan dirinya untuk meneliti tari jaipong, tari bali, atau tari daerah yang lain. Siapa tahu hasilnya dapat membuat masyarakat lokal maupun internasional lebih menghargai budaya kita.

(Dikutip seperlunya dari Fisika untuk Semua, *Yohanes Surya, 2004)*

Kolom Ilmuwan

Salah satu alat yang prinsip kerjanya berdasarkan gaya sentripetal adalah pesawat sentrifugal. Sekarang buatlah sebuah artikel mengenai pesawat ini. Anda dapat menjelaskan cara kerjanya, manfaatnya, kelebihan, atau kekurangannya. Cantumkan sumber-sumber yang Anda gunakan untuk membuat artikel tersebut (dari buku, majalah, internet, dll). Kumpulkan hasilnya di meja guru, dan jika dinilai layak kirimkan ke majalah atau surat kabar yang menyediakan kolom ilmu pengetahuan!

C. Penerapan Hukum Newton

Pada kehidupan sehari-hari Anda pasti dapat menemui contoh penerapan hukum-hukum Newton. Dalam subbab ini Anda akan membahas beberapa contoh penerapan hukum-hukum Newton. Misalnya pada gerak lurus, gerak vertikal, dan gerak melingkar beraturan.

Untuk menyelesaikan permasalahan yang menggunakan hukum I dan II Newton pada suatu benda, ada beberapa catatan. Pertama, gambarlah diagram secara terpisah yang menggambarkan semua gaya yang bekerja pada benda tersebut (gambar diagram bebas). Kedua, gaya yang searah dengan perpindahan benda dianggap positif, sedangkan gaya yang berlawanan arah dengan perpindahan benda dianggap negatif.

1. Gerak Benda pada Bidang Datar



Gambar 4.8 *(a) Balok pada bidang datar licin ditarik horizontal (b) Balok pada bidang datar licin ditarik dengan membentuk sudut* α.

Perhatikan Gambar 4.8 (a)! Sebuah benda yang terletak di atas bidang datar licin ditarik horizontal dengan gaya F. Ternyata benda tersebut bergerak dengan percepatan a. Karena benda bergerak pada sumbu X (horizontal), maka gaya yang bekerja pada benda tersebut dapat dituliskan sebagai berikut.

$$a = \frac{\Sigma F}{m} \text{ atau } a = \frac{F}{m}$$

Bagaimana jika gaya tarik F membentuk sudut (Gambar 4.8 (b))? Komponen yang menyebabkan benda bergerak di atas bidang datar licin adalah komponen horizontal F, yaitu F_x. Oleh karena itu, persamaannya dapat ditulis sebagai berikut.

$$F_x = F \cos \alpha$$

Sesuai dengan hukum II Newton, percepatan benda adalah sebagai berikut.

$$a = \frac{F \cos \alpha}{m}$$

Bagaimana jika bidang datar tempat benda berada kasar? Untuk sebuah benda yang berada di atas bidang kasar, Anda harus memperhitungkan gaya gesek antara benda dan bidang datar tersebut.

Contoh 4.2

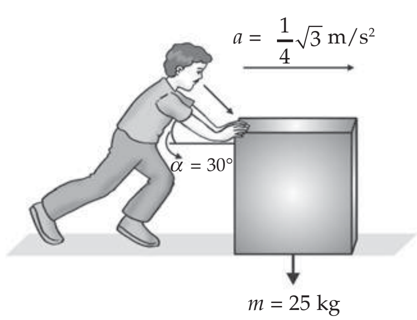
1. Sebuah balok es yang memiliki massa 25 kg didorong Rafli, dengan sudut 30°. Jika balok es bergerak dengan percepatan konstan $\frac{1}{4}\sqrt{3}$ m/s², maka tentukan besar gaya dorongan Rafli!

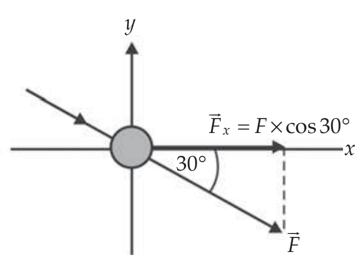
   Diketahui : a. $m = 25$ kg

   b. $a = \frac{1}{4}\sqrt{3}$ m/s²

   c. $\alpha = 30°$

   Ditanyakan : $F = \ldots?$





Jawab :

$F \cos \alpha = m\, a$

$F \cos 30° = 25 \times \frac{1}{4}\sqrt{3}$ m/s²

$$F = \frac{25 \times \frac{1}{4}\sqrt{3}}{\frac{1}{2}\sqrt{3}}$$

$$= \frac{25}{2}$$

$= 12{,}5$ N

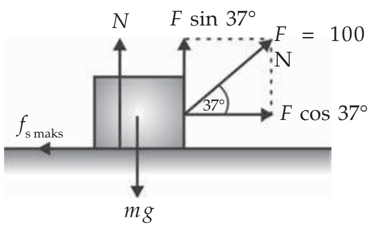
Jadi, Rafli mendorong balok es tersebut dengan gaya sebesar 123,5 N.

2. Pongki menarik sebuah balok yang bermassa 10 kg dengan gaya sebesar 100 N dengan arah membentuk sudut 37° terhadap lantai. Koefisien gesek statis dan kinetik benda terhadap lantai adalah 0,5 dan 0,4. Jika percepatan gravitasi di tempat itu 10 ms^{-2}, maka tentukan bergerak atau tidak benda tersebut, jika benda sudah bergerak tentukan percepatannya!

Diketahui :
a. m = 10 kg
b. F = 100 N
c. α = 37°
d. μ_s = 0,5
e. μ_k = 0,4
f. g = 10 ms^{-2}

Ditanyakan :
a. Apakah benda sudah bergerak dengan gaya dorong 100 N?
b. a = …?

Jawab :



a. $F_x = F \cos 37°$

$= 100 \times 0{,}8 = 80$ N

$f_{s,maks} = \mu_s N$

$\Sigma F = 0$

$N + F \sin 37° - mg = 0$

$N = mg - F \sin 37°$

$f_{s\ maks} = \mu_s (mg - F \sin 37°)$

$= 0{,}5\ (10 \times 10 - 100 \times 0{,}6)$

$= 20$ N

Karena $F_x > f_{s\ maks}$, maka balok yang didorong Pongki sudah bergerak.

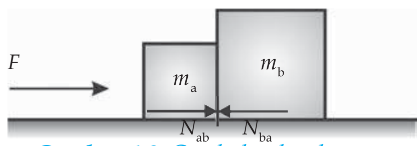
b. Karena balok sudah bergerak, maka yang bekerja pada balok adalah gaya gesekan kinetik.

$$f_k = \mu_k N = \mu_k (mg - F \sin 37°)$$
$$= 0{,}4\ (10 \times 10 - 100 \times 0{,}6)$$
$$= 16 \text{ N}$$

$$\Sigma F_x = m \times a$$
$$F \cos 37° - f_k = m \cdot a$$
$$a = \frac{F \cos 30° - f}{m} = \frac{100 \times 0{,}8 - 16}{10} = 6{,}4 \text{ m/s}^2$$

Jadi, balok tersebut bergerak dengan percepatan 6,4 m/s².

2. Gerak Dua Benda yang Bersentuhan



Gambar 4.9 *Gerak dua benda.*

Misalkan dua benda m_a dan m_b bersentuhan dan diletakkan pada bidang datar licin (perhatikan Gambar 4.9). Jika benda m_a didorong dengan gaya F , maka besarnya gaya kontak antara benda m_a dan m_b adalah F_{ab} dan F_{ba}. Kedua gaya tersebut sama besar tetapi arahnya berlawanan. Menurut hukum II Newton permasalahan tersebut dapat Anda tinjau sebagai berikut.

Gaya yang bekerja pada benda pertama adalah $\Sigma F_x = m \,.\, a$ atau $F - N_{ab} = m_a \,.\, a$. Gaya yang bekerja pada benda kedua adalah $\Sigma F_x = m_b .a$ atau $N_{ba} = m_a \,.\, a$. Karena N_{ab} dan N_{ba} merupakan pasangan aksi reaksi, maka besar keduanya sama. Sehingga Anda juga dapat menuliskan persamaan $N_{ab} = m_a \,.\, a$. Berdasarkan persamaan-persamaan tersebut, Anda dapatkan persamaan sebagai berikut.

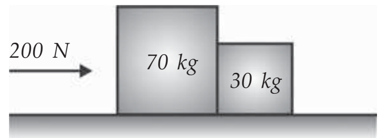
$$F - m_b \times a = m_a \times a$$
$$F = m_a \times a + m_b \times a$$
$$F = (m_a + m_b)\, a \quad \text{atau} \quad a = \frac{F}{m_a + m_b}$$

Dengan demikian persamaan gaya kontak antara benda m_a dan m_b adalah sebagai berikut.

$$N_{ab} = \frac{m_b}{m_a + m_b} F \quad \text{atau} \quad N_{ba} = \frac{m_a}{m_a + m_b} F$$

Contoh 4.3

Dua benda yang bersentuhan mula-mula diam di atas lantai licin (perhatikan gambar di samping). Jika pada benda pertama dikerjakan gaya sebesar 200 N, maka tentukan percepatan masing-masing benda dan gaya kontak antarbenda!



Diketahui : a. m_a = 70 kg
b. m_b = 30 kg
c. F = 200 N

Ditanyakan: a. a = ...?
b. N_{ab} atau N_{ba} = ...?

Jawab :

a. Percepatan benda

$$a = \frac{F}{m_a + m_b} = \frac{200}{70+30} = 2 \text{ m s}^{-2}$$

Jadi, percepatan masing-masing benda adalah 2 m s^{-2}.

b. Besarnya gaya kontak antarbenda

Anda bisa menggunakan salah satu persamaan. Misalnya Anda gunakan persamaan berikut.

$$N_{ab} = \frac{m_b}{m_a + m_b}F = \frac{30}{70+30}200$$

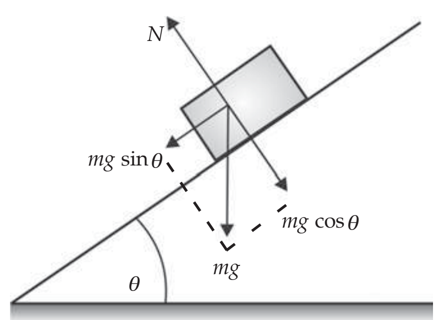
$$= 60 \text{ N}$$

Jadi, besarnya gaya kontak antarbenda adalah 60 N

3. Gerak Benda pada Bidang Miring

Anda telah mengetahui bahwa sebuah benda yang diletakkan di atas meja tidak akan jatuh. Hal itu karena adanya gaya lain yang bekerja pada benda selain gaya berat, yaitu gaya normal. Ingat, arah gaya normal selalu tegak lurus dengan bidang sentuh.

Misalnya, sebuah benda yang bermassa m diletakkan pada bidang miring licin yang membentuk sudut θ terhadap bidang horizontal. Jika



Gambar 4.10 Gerak benda pada bidang miring.

diambil sumbu *X* sejajar bidang miring dan sumbu *Y* tegak lurus dengan bidang miring, maka komponen-komponen gaya beratnya adalah sebagai berikut.

Komponen gaya berat pada sumbu *X* adalah W_x = mg sin θ

Komponen gaya berat pada sumbu *Y* adalah W_y = mg cos θ

Gaya-gaya yang bekerja pada sumbu *Y* adalah sebagai berikut.

$$\Sigma F_y = N - w_y$$

atau

$$\Sigma F_y = N - mg\cos\theta$$

Karena benda tidak bergerak pada sumbu *y*, maka $\Sigma F_y = 0$ atau $N = mg\cos\theta$.

Gaya-gaya yang bekerja pada sumbu *x* adalah sebagai berikut.

$$\Sigma F_x = mg\sin\theta$$

Karena benda bergerak pada sumbu X (gaya yang menyebabkan benda bergerak adalah gaya yang sejajar dengan bidang miring), maka percepatan yang dialami oleh benda adalah sebagai berikut.

$$\Sigma F_x = m \times a$$

$$mg\sin\theta = m \times a \quad \text{atau} \quad a = g\sin\theta$$

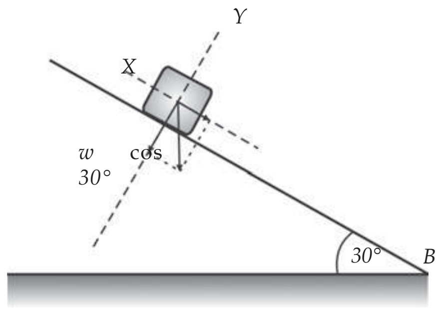
Contoh 4.4

Sebuah balok yang massanya 6 kg meluncur ke bawah pada sebuah papan licin yang dimiringkan 30° dari lantai. Jika jarak lantai dengan balok 10 m dan besarnya gaya gravitasi ditempat itu 10 ms^{-2}, maka tentukan percepatan dan waktu yang diperlukan balok untuk sampai di lantai!

Diketahui :	a.	m	= 6 kg
	b.	s	= 10 m
	c.	α	= 30°
	d.	g	= 10 ms^{-2}
Ditanyakan:	a.	a	= ...?
	b.	t	= ...?

Jawab :

Gaya berat balok diuraikan pada sumbu X (bidang miring) dan sumbu Y (garis tegak lurus bidang miring). Benda meluncur dengan gaya $F = w \sin 30°$.



a. Menurut hukum II Newton

$F = m \times a$

$w \sin 30° = m \times a$

$\mathrm{m} \times \mathrm{g} \sin 30° = m \times a$

$6 \times 10 \times 0{,}5 = 6\ a$

$$a = \frac{30}{6} = 5 \text{ ms}^{-2}$$

Jadi, balok tersebut meluncur ke bawah dengan percepatan 5 ms^{-2}.

b. Ingat persamaan pada GLBB

$s_t = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$, karena $v_0 = 0$ maka

$$s_t = \frac{1}{2}at^2$$

$$10 = \frac{1}{2}5\ t^2$$

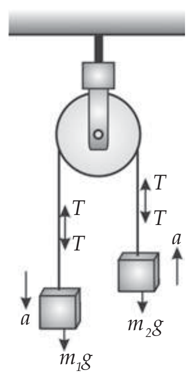
$$t^2 = \frac{10}{2{,}5} = 4$$

$t = 2$ s

Jadi, waktu yang diperlukan balok untuk sampai ke lantai adalah 2 s.

4. Gerak Benda yang Dihubungkan dengan Katrol

Perhatikan Gambar 4.11! Misalnya dua buah benda m_a dan m_b dihubungkan dengan seutas tali melalui sebuah katrol licin (tali dianggap tidak bermassa). Jika $m_a > m_b$, maka m_a akan bergerak ke bawah (positif) dan m_b bergerak ke atas (negatif) dengan percepatan sama. Untuk menentukan besarnya percepatan dan tegangan tali pada benda, Anda dapat lakukan dengan meninjau gaya-gaya yang bekerja pada masing-masing benda.



Gambar 4.11 *Katrol*

Tinjau benda m_a:

$$\Sigma F_a = m_a \times a$$
$$m_a \times g - T = m_a \times a \Leftrightarrow T = m_a \times g - m_a \times a$$

Tinjau benda m_b :

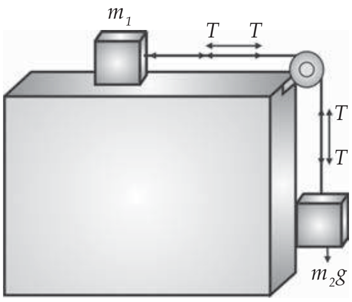
$$\Sigma F_b = m_b \times a$$
$$T - m_b \times g = m_b \times a \Leftrightarrow T = m_b \times g + m_b \times a$$

Karena Anda anggap tali tidak bermassa dan katrol licin, maka gesekan antara katrol dan tali juga diabaikan. Sehingga tegangan tali di mana-mana adalah sama. Oleh karena itu, dari persamaan-persamaan di atas Anda dapatkan persamaan sebagai berikut.

$$m_a \times g - m_a \times a = m_b \times g + m_b \times a$$
$$m_a \times g - m_b \times a = m_a \times g + m_b \times a$$
$$(m_a - m_b)g = (m_a + m_b)a$$
$$a = \frac{m_a - m_b}{m_a + m_b} g$$

Contoh 4.5

Perhatikan gambar di samping! Dua buah benda masing-masing memiliki massa 5 kg dan 10 kg dihubungkan dengan katrol. Gesekan antara benda pertama dengan meja lantai diabaikan. Jika gaya gravitasi di tempat itu sebesar 10 ms^{-2}, maka tentukan percepatan yang dialami kedua benda dan tegangan talinya!



Diketahui : a. m_a = 5 kg
b. m_b = 10 kg
c. g = 10 ms^{-2}

Ditanyakan : a. a = ...?
b. T = ...?

Jawab :

a. Percepatan kedua benda (a)

Karena $m_b > m_a$, maka diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$\Sigma F_b = m_b \times a$$

$$m_a \times g - T = m_a \times a$$

$$T = m_b \times g - m_b \times a \qquad \text{.... (1)}$$

$$\Sigma F_a = m_a \times a$$

$$T = m_a \times a \qquad \text{.... (2)}$$

Jika Anda substitusikan persamaaan (1) dan (2), maka akan diperoleh persamaan:

$m_a \times a = m_b \times g - m_b \times a$

$m_a \times a + m_b \times a = m_b \times g$

$(m_a + m_b)a = m_b \times g$

$$a = \frac{m_b \times g}{m_a + m_b}$$

$$a = \frac{10 \times 10}{5 + 10} = \frac{100}{15} = 6{,}67 \text{ ms}^{-2}$$

Jadi, percepatan yang dialami kedua benda tersebut adalah $6{,}67$ ms^{-2}.

b. Tegangan tali (T)

Karena tegangan tali di mana-mana sama, maka boleh ditinjau salah satu benda saja.

Benda pertama: $T = m_a \times a = 5 \times 6{,}67 = 33{,}3$ N

Benda kedua: $T = m_b \times g - m_b \times a = (10 \times 10) - (10 \times 6{,}67)$

$= 100 - 66{,}7 = 33{,}3$ N

Jadi, tegangan tali pada sistem tersebut sebesar 33,3 N.

5. Gaya Tekan Kaki pada Lantai Lift

Pada gedung-gedung bertingkat banyak, tidaklah mungkin orang naik turun menggunakan tangga. Selain memerlukan waktu lama juga memerlukan energi yang tidak sedikit/melelahkan. Tentu Anda pernah menaiki lift. Apa yang Anda rasakan saat lift diam, naik, dan turun?

Suatu hal aneh terjadi saat bobot seseorang yang sedang menaiki lift ditimbang. Bobot orang tersebut ternyata berbeda ketika lift diam, bergerak turun, dan bergerak naik. Bagaimana hal tersebut dapat terjadi? Menurut hukum-hukum Newton, hal tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

Perhatikan Gambar 4.12! Pada lift diam atau bergerak dengan kecepatan tetap, maka percepatannya nol. Oleh karena itu, berlaku keseimbangan gaya (hukum I Newton).

$$\Sigma F_y = 0$$
$$N - mg = 0$$
Karena $mg = w$, maka $N = w$

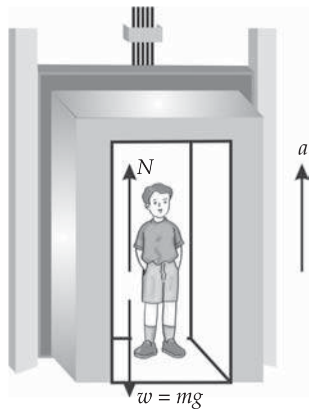


Gambar 4.12 Lift diam.

Jadi, gaya tekan kaki pada saat lift diam atau bergerak dengan kecepatan tetap adalah sama dengan gaya berat orang tersebut.

Perhatikan Gambar 4.13! Jika lift bergerak ke atas dengan percepatan, maka besarnya gaya tekan kaki pada lantai lift dapat ditentukan sebagai berikut.

$$\Sigma F_y = m \times a$$
$$N - mg = m \times a$$
$$N = mg + m \times a$$

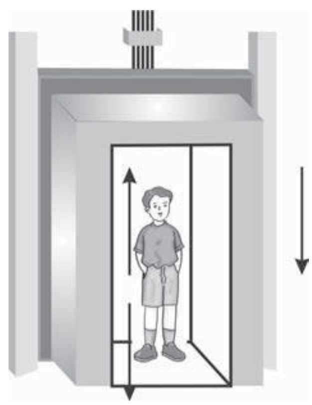


Gambar 4.13 Lift naik.

Sebagai acuan pada gerak lift naik, gaya-gaya yang searah dengan arah gerak lift diberi tanda positif dan yang berlawanan di beri tanda negatif.

Selanjutnya, perhatikan Gambar 4.14! Berdasarkan penalaran yang sama seperti saat lift bergerak ke atas, maka untuk lift yang bergerak ke bawah Anda dapatkan persamaan sebagai berikut.

$$\Sigma F_y = m \times a$$
$$mg - N = m \times a$$
$$N = mg - m \times a$$



Gambar 4.14 Lift turun.

Contoh 4.6

Oneng yang bermassa 30 kg berdiri di dalam sebuah lift yang bergerak dengan percepatan 3 m/s^2. Jika gravitasi bumi 10 ms^{-2}, maka tentukan berat Oneng saat lift bergerak ke atas dipercepat dan bergerak ke bawah dipercepat!

Diketahui : a. m = 30 kg
b. g = 10 ms^{-2}

Ditanyakan: a. w = ...? (lift bergerak ke atas)
b. w = ...? (lift bergerak ke bawah)

Jawab :

a. Lift bergerak ke atas

$$w = N = mg + m \times a$$
$$= 30 \times 10 + 30 \times 3$$
$$= 300 + 90$$
$$= 390 \text{ N}$$

Jadi, berat Oneng saat lift bergerak ke atas dipercepat adalah 390 N.

b. Lift bergerak ke bawah

$$w = N = mg - m \times a$$
$$= 30 \times 10 - 30 \times 3$$
$$= 300 - 90$$
$$= 210 \text{ N}$$

Jadi, berat Oneng saat lift bergerak ke bawah dipercepat adalah 210 N.

Soal Kompetensi 4.2

1. Bagaimana persamaan untuk gerak lift ke bawah diperlambat dan gerak lift ke atas diperlambat!
2. Percepatan adalah perubahan kecepatan terhadap waktu. Pada bab ini, percepatan merupakan gaya yang dilakukan terhadap massa benda. Jelaskan perbedaan kedua hal tersebut!

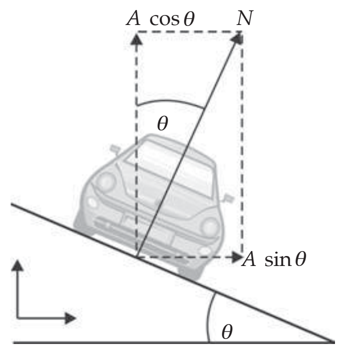
6. Gerak Menikung di Jalan

Apakah Anda penggemar balap, baik balap mobil atau sepeda motor? Mengapa para pembalap Moto GP memiringkan badannya saat melewati tikungan? Mengapa pada belokan tajam lintasan balapan dibuat miring? Tujuan semua itu adalah agar para pembalap dapat menikung dengan kecepatan tinggi dengan lebih mudah dan aman.

Perhatikan Gambar 4.15! Jika gaya gesekan antar ban dan jalan diabaikan dan sudut kemiringan antara jalan dan bidang horizontal θ, maka gaya-gaya yang bekerja pada mobil adalah sebagai berikut.

Untuk komponen pada sumbu X (horizontal)

$$N\sin\theta = m\frac{v^2}{r} \Leftrightarrow N = \frac{mv^2}{r\sin\theta}$$



Gambar 4.15 Gerak menikung.

Untuk Komponen sumbu Y (vertikal)

$$N\cos\theta = mg \Leftrightarrow N = \frac{mg}{\cos\theta}$$

Jika persamaan-persamaan di atas Anda subtitusikan, maka akan Anda dapatkan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{mv^2}{r\sin\theta} = \frac{mg}{\cos\theta}$$

$$mv^2 \cos\theta = mgr\sin\theta$$

$$v^2 \cos\theta = gr\sin\theta$$

$$v^2 = \frac{gr\sin\theta}{\cos\theta}$$

$$v^2 = gr\tan\theta$$

$$v = \sqrt{gr\tan\theta}$$

Persamaan di atas merupakan persamaan kecepatan maksimum yang boleh dimiliki mobil agar tidak terpental dari lintasan.

Contoh 4.7

Seorang pembalap akan melewati tikungan jalan yang berjari-jari 80 m dengan sudut kemiringan 37°. Jika gaya gravitasi 10 ms^{-2}, maka tentukan kecepatan maksimum pembalab agar tidak tergelincir dari lintasan?

Diketahui : a. r = 80 m

b. θ = 37°

Ditanyakan : v = ...?

Jawab :

$$v = \sqrt{gr\tan\theta}$$

$$= \sqrt{10 \times 80 \tan 37°}$$

$$= \sqrt{800 \times \frac{3}{4}}$$

$$= \sqrt{600}$$

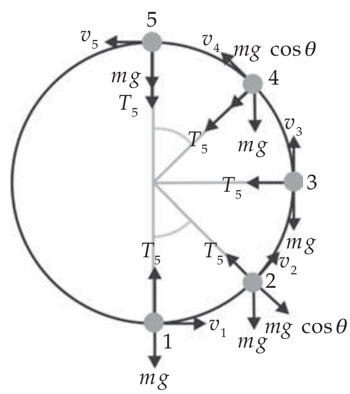
$$= 24{,}49 \text{ m/s}$$

Jadi, kecepatan maksimum yang diperbolehkan agar pembalap tidak tergelincir adalah 24,49 m/s.

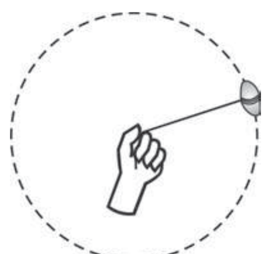
7. Gerak Melingkar Vertikal

Pernahkan Anda berkunjung ke Dunia Fantasi Taman Impian Jaya Ancol, di Jakarta? Di sana banyak dijumpai permainan yang merupakan gerak melingkar vertikal seperti kora-kora (perahu ayun) dan kereta luncur. Gerak melingkar vertikal juga di alami oleh seseorang yang mengendarai mobil di daerah perbukitan yang naik turun atau pilot yang melakukan demonstrasi gerakan loop di langit.

Misalnya, sebuah batu yang Anda ikat dengan seutas tali Anda putar secara vertikal. Anda pasti merasakan perbedaan tegangan tali saat benda di titik tertinggi, terendah, mendatar, dan sembarang titik yang membentuk sudut θ. Pada gerak melingkar vertikal dapat dipilih acuan sebagai berikut: Pertama, semua gaya yang menuju ke pusat lingkaran Anda beri nilai positif. Kedua, Gaya-gaya yang menjauhi pusat lingkaran Anda beri nilai negatif.



Gambar 4.16 Contoh gerak melingkar vertikal dapat Anda amati di taman hiburan.



Gambar 4.17 Gerak melingkar vertikal pada seutas tali.

Berdasarkan Gambar 4.17, Anda dapat menentukan besarnya tegangan tali pada semua keadaan. Pada semua keadaan berlaku persamaan:

$$\Sigma F = m\frac{v^2}{r}.$$

Saat benda di posisi A besarnya tegangan tali adalah sebagai berikut.

$$T_A = mg\left(\frac{v^2}{rg} - 1\right)$$

Saat benda di posisi B besarnya tegangan tali adalah sebagai berikut.

$$T_B = \frac{mv^2}{r}$$

Saat benda di posisi C besarnya tegangan tali adalah sebagai berikut.

$$T_C = mg\left(\frac{v^2}{rg} + \cos\theta\right)$$

Saat benda di posisi D besarnya tegangan tali adalah sebagai berikut.

$$T_D = mg\left(\frac{v^2}{rg} + 1\right)$$

Contoh 4.8

Sitompul mengikat bolpointnya yang bermassa 0,1 kg dengan seutas tali dan diputar vertikal dengan kecepatan tetap 4 ms^{-2}. Jika panjang tali 1 m dan gaya gravitasi bumi 10 ms^{-2}, maka tentukan tegangan tali saat bolpoint berada di posisi terendah dan posisi tertinggi!

Diketahui : a. m = 0,1 kg
b. g = 10 ms^{-2}
c. v = 4 ms^{-2}
d. r = 1 m

Ditanyakan: a. T = …? (di titik terendah)
b. T = …? (di titik tertinggi)

Jawab :

a. Posisi terendah

$$T_D = mg\left(\frac{v^2}{rg} + 1\right)$$

$$= 0{,}1 \times 10\left(\frac{4^2}{1\times 10} + 1\right)$$

$$= 1\left(\frac{16}{10} + 1\right)$$

$$= 2{,}6 \text{ N}$$

b. Posisi tertinggi

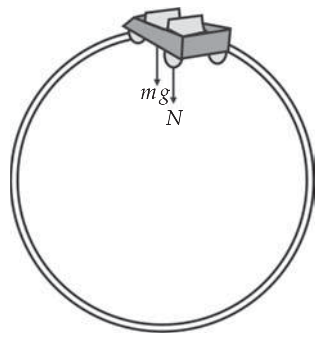
$$T_A = mg\left(\frac{v^2}{rg} - 1\right)$$

$$= 0{,}1 \times 10\left(\frac{4^2}{1\times 10} - 1\right)$$

$$= 1\left(\frac{16}{16} + 1\right)$$

$$= 0{,}6 \text{ N}$$

Sekarang, Anda akan mempelajari gerak melingkar vertikal pada kereta luncur. Kereta luncur merupakan contoh gerak melingkar vertikal pada sisi dalam lingkaran. Mengapa kereta luncur tidak jatuh ke bawah saat berada di titik tertinggi lintasan?



Gambar 4.18 *Diagram gaya yang bekerja pada kereta luncur saat berada di titik tertinggi lintasan.*

Saat kereta luncur berada di titik tertinggi lintasan dalam keadaan diam, maka resultan gaya ke bawah ($N + mg$) yang tidak nol akan menghasilkan percepatan ke bawah. Percepatan inilah yang menyebabkan kereta luncur akan jatuh ke bawah. Namun, jika kereta bergerak dengan kelajuan tertentu, maka kereta akan menempuh gerak melingkar vertikal. Gerak melingkar vertikal memerlukan gaya sentripetal. Pada kasus ini gaya sentripetal di berikan oleh resultan gaya $N + mg$. Karena alasan itulah kereta luncur yang bergerak dengan kelajuan tertentu tidak akan jatuh ke bawah.

Berapakah kelajuan minimun yang harus dimiliki kereta kuncur saat berada di titik tertinggi lintasan? Perhatikan gaya-gaya yang bekerja pada kereta. Ada dua gaya yang menuju ke pusat lingkaran, yaitu gaya berat ($w = mg$) dan gaya normal (N_A). Resultan kedua gaya ini memberikan gaya sentripetal $\left(\frac{mv^2}{r}\right)$. Sehingga saat Anda samakan resultan gaya $N_A + mg$ dengan gaya sentripetal $\frac{mv^2}{r}$, maka akan Anda dapatkan persamaan berikut.

$$\frac{mv^2}{r} = N + mg$$

Kelajuan minimum tertentu kereta juga disebut kelajuan kritis (v_k). Kelajuan ini diperoleh untuk N_A = 0. Oleh karena itu persamaannya menjadi seperti berikut.

$$\frac{mv_k^{\ 2}}{r} = 0 + mg \Leftrightarrow mv_k^{\ 2} = mg \Leftrightarrow v_k = \sqrt{gr}$$

Jadi, agar kereta luncur tidak jatuh ke bawah saat berada di titik tertinggi, maka kereta tersebut harus memiliki kelajuan yang lebih besar dari $\sqrt{gr}$.

Contoh 4.9

Faisal memutar secara vertikal sebuah ember yang berisi air dengan jari-jari 0,8 m. Jika gaya gravitasi sebesar 9,8 ms^{-2}, maka tentukan ke-lajuan minimum ember agar air di dalamnya tidak tumpah!

Diketahui : a. r = 0,8 m

b. g = 9,8 ms^{-2}

Ditanyakan : v_k = ...?

Jawab :

$v_k = \sqrt{gr}$

$= \sqrt{9{,}8 \times 0{,}8}$

$= \sqrt{7{,}84}$

= 2,8 m/s

Jadi, agar air di dalam ember tidak tumpah, maka ember harus memiliki kelajuan lebih besar dari 2,8 m/s.

Kolom Diskusi 4.3

Diskusikan dengan teman sebangku Anda mengenai gerak melingkar pada sisi sebelah luar lingkaran. Tuliskan persamaan-persamaan yang berlaku dan berilah contoh soal dan contoh peristiwanya dalam kehidupan sehari-hari. Buatlah kesimpulan berdasarkan diskusi tersebut dan kumpulkan di meja guru Anda!

Rangkuman

1. Dinamika adalah ilmu mekanika yang mempelajari tentang gerak dengan meninjau penyebab terjadinya gerak.
2. Gaya adalah dorongan atau tarikan yang menyebabkan sebuah benda bergerak.
3. Hukum I Newton menyatakan bahwa "Jika resultan gaya pada suatu benda sama dengan nol, maka benda yang diam akan tetap diam dan benda yang bergerak akan tetap bergerak dengan kecepatan tetap".
4. Hukum II Newton menyatakan bahwa "Percepatan yang dihasilkan oleh resultan gaya yang bekerja pada suatu benda berbanding lurus dengan resultan gaya, dan berbanding terbalik dengan massa benda".
5. Hukum III Newton menyatakan bahwa "Jika benda A mengerjakan gaya pada benda B, maka benda B akan mengerjakan gaya pada benda A, yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan".
6. Ada beberapa jenis gaya, antara lain, gaya berat, gaya normal, gaya gesekan, dan gaya sentripetal.
7. Gaya berat (w) merupakan gaya gravitasi bumi yang bekerja pada suatu benda.
8. Persamaan gaya berat adalah $w = m \times g$.
9. Gaya normal (N) adalah gaya yang bekerja pada bidang yang bersentuhan antara dua permukaan benda, yang arahnya selalu tegak lurus dengan bidang sentuh.
10. Gaya gesek adalah gaya yang bekerja antara dua permukaan benda yang saling bersentuhan.
11. Gaya gesek dapat dibedakan menjadi dua, yaitu gaya gesekan statis dan gaya gesekan kinetis. Gaya gesek statis (f_s) adalah gaya gesek yang bekerja pada benda selama benda tersebut masih diam. Gaya gesek kinetis (f_k) adalah gaya gesek yang bekerja pada saat benda dalam keadaan bergerak.
12. Persamaan gaya gesek statis dan kinetis adalah $f_{s,maks} = \mu_s N$ dan $f_k = \mu_k N$.
13. Gaya sentripetal adalah gaya yang menimbulkan percepatan sentripetal.
14. Gaya sentripetal pada gerak melingkar berfungsi untuk merubah arah gerak benda.

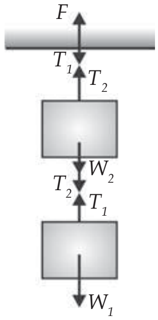
15. Persamaan gaya sentripetal adalah $F_s = m\frac{v^2}{r} = m\omega^2 r$.

16. Penerapan hukum-hukum Newton, antara lain, pada gerak benda pada bidang datar, gerak dua benda yang bersentuhan, gerak benda pada bidang miring, gerak melingkar beraturan, dan gerak melingkar vertikal.

P e l a t i h a n

A. *Pilihlah jawaban yang benar dengan menuliskan huruf a, b, c, d, atau e di buku tugas Anda!*

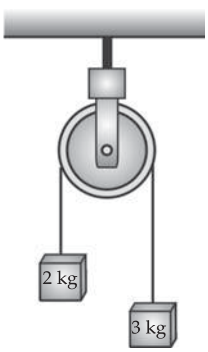
1. Pernyataan berikut yang sesuai dengan hukum I Newton adalah ....
   a. jika $a = 0$, maka benda selalu diam
   b. jika $v = 0$, maka benda selalu bergerak lurus beraturan
   c. jika $a = 0$, maka benda bergerak lurus berubah beraturan
   d. jika $a = 0$, maka perubahan kecepatan benda selalu nol
   e. jika $v = 0$, maka perubahan percepatan benda selalu nol
2. Benda A dan B terletak di atas lantai licin. Massa benda A tiga kali massa benda B. Jika pada kedua benda bekerja gaya mendatar yang sama, maka perbandingan percepatan antara benda A dan benda B adalah ....
   a. 1 : 6
   b. 1 : 3
   c. 1 : 1
   d. 2 : 3
   e. 1 : 4
3. Selama 10 sekon kecepatan sebuah truk yang massanya 5 ton mengalami perubahan dari 5 m/s menjadi 15 m/s. Besarnya gaya yang menyebabkan perubahan kecepatan tersebut adalah ....
   a. 5.000 N
   b. 6.000 N
   c. 7.000 N
   d. 8.000 N
   e. 9.000 N
4. Sebuah batu dengan massa 2 kg diikat dengan tali dan diputar sehingga lintasannya berbentuk lingkaran vertical dengan jari-jari 0,5 m dan kecepatan sudutnya 6 rad/s. Tegangan tali di titik terendah adalah ....
   a. 51 N
   b. 61 N
   c. 54 N
   d. 64 N
   e. 56 N
5. Silalahi yang bermassa 60 kg berda dalam sebuah lift yang sedang bergerak ke bawah dengan kecepatan 3 ms^{-2}. Besarnya gaya desakan kaki Silalahi pada lantai lift adalah ....
   a. 420 N
   b. 430 N
   c. 520 N
   d. 530 N
   e. 600 N

6. 

Perhatikan gambar di samping! Yang menunjukkan pasangan gaya aksi reaksi adalah ....

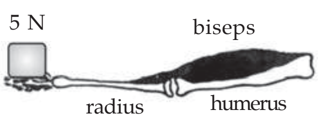
a. T_1 dan T_2
b. T_3 dan T_4
c. T_1 dan w_1
d. T_3 dan w_2
e. T_4 dan F

7. Koefisien gesek statis antara sebuah lemari dengan lantai kasar suatu bak truk sebesar 1. Besarnya percepatan maksimum yang boleh dimiliki truk agar lemari tetap diam terhadap bak truk adalah ....
   a. 1 ms^{-2}
   b. 5 ms^{-2}
   c. 10 ms^{-2}
   d. 15 ms^{-2}
   e. 7 ms^{-2}

8. 

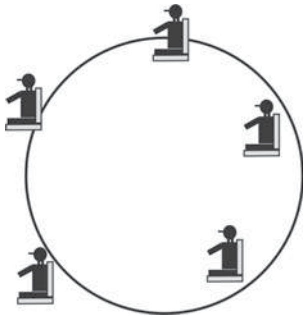
Dua buah benda A dan B masing-masing bermassa 2 kg dan 3 kg dihubungkan dengan tali melalui sebuah katrol licin (massa tali diabaikan). Jika percepatan gravitasi bumi ditempat itu 10 ms^{-2}, maka besarnya tegangan tali adalah ....

   a. 20 N
   b. 21 N
   c. 22 N
   d. 23 N
   e. 24 N

9. 

Perhatikan gambar di samping! Jika lengan direntangkan hampir horizontal sehingga sudut antartendon biseps dengan tulang lengan (radius) sebesar 10°, maka agar keadaan setimbang besarnya gaya yang diperlukan adalah .... (sin 10° = 0,2)

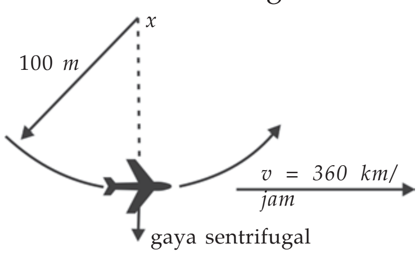
   a. 100 N
   b. 125 N
   c. 150 N
   d. 175 N
   e. 200 N

10. 

Cahyo duduk di atas kursi pada roda yang berputar vertikal. Jika percepatan gravitasi bumi 10 ms^{-2} dan jari-jari roda 2,5 m, maka laju maksimum roda tersebut agar cahyo tidak terlepas dari tempat duduknya adalah ....

a. 1 m/s
b. 2 m/s
c. 3 m/s
d. 4 m/s
e. 5 m/s

B. *Kerjakan soal-soal berikut dengan benar!*

1. Pada benda yang bermassa *m*, bekerja gaya *F* yang menimbulkan percepatan a. Jika gaya yang bekerja dijadikan 2*F* dan massa benda dijadikan $\frac{1}{4}m$, maka tentukan besarnya percepatan yang ditimbulkan!
2. Sebuah elevator massa 400 kg bergerak vertikal ke atas dari keadaan diam dengan percepatan tetap sebesar 2 m/s^2. Jika percepatan gravitasi 9,8 m/s^2, maka tentukan tegangan tali penarik elevator!
3. Pada kecepatan 72 km/jam, seorang sopir mengerem mobilnya sehingga 10 sekon kemudian mobil berhenti. Jika percepatan gravitasi 10 ms^{-2}, maka tentukan koefisien gesek antara ban mobil dengan jalan!
4. 

Perhatikan gambar di samping! Jika berat pilot 60 kg, maka tentukan besarnya gaya tarik ke bawah yang dirasakan pilot saat pesawat bergerak seperti terlihat pada gambar di samping!

5. Benda bermassa 100 gram bergerak melingkar beraturan dengan jari-jari 0,5 m dan kecepatan sudut 2 rad/s. Tentukan besarnya gaya sentripetal yang dialami benda tersebut!



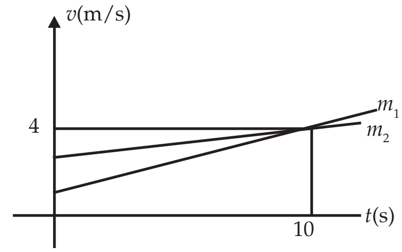
Pelatihan Ulangan Semester Gasal

A. Pilihlah jawaban yang benar dengan menuliskan huruf a, b, c, d, atau e di dalam buku tugas Anda!

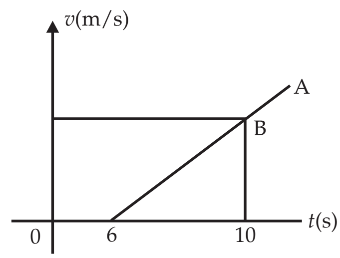
1. Besaran-besaran di bawah ini yang merupakan besaran turunan adalah ....
   a. gaya, kecepatan, dan panjang
   b. tekanan, energi, dan berat
   c. berat daya, dan waktu
   d. massa, waktu, dan percepatan
   e. berat, emerge, dan massa
2. Sebatang kayu memiliki panjang 100 m. Pada pernyataan tersebut yang dinamakan besaran adalah ....
   a. 100
   b. panjang
   c. meter
   d. 100 meter
   e. kayu
3. Besaran-besaran di bawah ini yang merupakan besaran turunan adalah ....
   a. gaya, kecepatan, dan panjang
   b. tekanan, energi, dan berat
   c. berat daya, dan waktu
   d. massa, waktu, dan percepatan
   e. berat, energi, dan massa
4. Perpindahan didefinisikan sebagai ....
   a. perubahan kedudukan suatu benda dalam waktu tertentu
   b. jarak antara dua posisi benda
   c. besaran skalar
   d. hasil kali kelajuan dengan waktu
   e. panjang lintasan yang ditempuh oleh suatu benda
5. Besar dan arah sebuah vektor **V** yang memiliki komponen $V_x = 4{,}8$ dan $V_y = -6{,}2$ adalah ....
   a. $V = 7{,}8$ dan $\theta = -52°$
   b. $V = 78$ dan $\theta = 52°$
   c. $V = 78$ dan $\theta = -52°$
   d. $V = 7{,}8$ dan $\theta = 32°$
   e. $V = 78$ dan $\theta = 32°$

6. Persamaan untuk kecepatan suara di dalam suatu gas dinyatakan dengan rumus $v = \sqrt{\frac{\gamma\, k_b\, T}{m}}$. Kecepatan v dinyatakan dalam satuan m/s, γ adalah konstanta tanpa satuan, *T* adalah suhu dinyatakan dalam kelvin, dan m adalah massa dinyatakan dalam kg. Satuan untuk konstanta Boltzmann k_b adalah ....
   a. kg $m^2 s^{-2} K^{-1}$
   b. kg $m^2 s^{-2}$ K
   c. kg $m^{-2} s^2$ K
   d. kg m s K^{-1}
   e. kg m^2 s K
7. Sebuah roket yang membawa sebuah satelit sedang bergerak menjauhi bumi. Setelah 1,35 sekon, roket tersebut berada 47 m di atas tanah. Kemudian 4,45 s setelah itu, roket berada 1 km di atas tanah. Besarnya kecepatan rata-rata roket tersebut adalah ....
   a. 152 m/s
   b. 162 m/s
   c. 172 m/s
   d. 182 m/s
   e. 192 m/s
8. Ketika cuaca cerah, jarak Jogjakarta-Semarang bisa ditempuh dalam waktu 2 jam 30 menit dengan kelajuan rata-rata 72 km/jam. Namun, pada saat hujan, jarak Jogjakarta-Semarang tersebut terpaksa harus ditempuh dengan kelajuan rata-rata 60 km/jam. Selisih lama perjalanan yang ditempuh pada waktu hujan dengan cuaca cerah adalah ....
   a. 20 menit
   b. 25 menit
   c. 27 menit
   d. 30 menit
   e. 35 menit
9. Ben Johnson pernah menjadi pelari tercepat di dunia. Ia menempuh jarak 100 m dalam waktu 9,83 s. pada interval jarak 50 m sampai 70 m, ia menempuhnya dalam waktu 1,7 s. Kelajuan rata-rata Ben Johnson untuk keseluruhan jarak 100 meter adalah ....
   a. 10 m/s
   b. 10,17 m/s
   c. 10,27 m/s
   d. 11 m/s
   e. 11,07 m/s
10. Benda bermassa 4 kg yang mula-mula diam dipercepat oleh suatu gaya tetap 10 N. Setelah menempuh jarak 9 meter, kelajuan benda tersebut adalah ....
   a. 110 m
   b. 36 m
   c. 6 m
   d. 3,6 m
   e. 3 m
11. Sebuah benda yang bergerak lurus selama 4 sekon mengalami perubahan kecepatan dari 4 m/s menjadi 8 m/s dengan arah gerak akhir berlawanan dengan arah gerak mula-mula. Resultan gaya pada benda tersebut adalah ....
   a. 2 N
   b. 4 N
   c. 6 N
   d. 8 N
   e. 10 N

12. Jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk mempercepat gerak sebuah mobil yang dari keadaan diam menjadi berkelajuan v adalah P. Jika gesekan antara ban dan jalan diabaikan, maka jumlah bahan bakar tambahan yang diperlukan untuk menaikkan kelajuan mobil tersebut dari v menjadi $2v$ adalah ….
    a. $2P$
    b. $3P$
    c. $4P$
    d. $5P$
    e. $6P$
13. Perhatikan gambar grafik di samping! Dua buah benda masing-masing bermassa m_1 dan m_2. bergerak sepanjang sumbu X dan dipengaruhi oleh gaya yang sama. Berdasarkan grafik tersebut diketahui bahwa ….



    a. $m_1 > m_2$
    b. $m_1 < m_2$
    c. pada $t = 10$ s kedua benda bertumbukan
    d. selama 10 s pertama, kedua benda menempuh jarak yang sama
    e. m_1 menempuh jarak lebih jauh
14. Perhatikan gambar grafik di samping! Benda A tepat menyusul benda B setelah bergerak selama ….



    a. 17 s
    b. 18 s
    c. 19 s
    d. 20 s
    e. 21 s
15. Dua buah mobil A dan B bergerak pada arah yang sama tetapi mobil b berada 186 meter di belakang mobil A. Jika kelajuan mobil A dan B masing-masing 18,6 m/s dan 14,4 m/s, maka waktu yang diperlukan mobil B untuk mengejar mobil adalah ….
    a. 24 s
    b. 26 s
    c. 28 s
    d. 32 s
    e. 36 s
16. Doni dan Dina yang terpisah jarak 100 m berlari saling mendekat saat bertemu di stasiun kereta dengan kecepatan 4,5 m/s dan -3,5 m/s. Waktu yang diperlukan keduanya untuk bertemu adalah ….
    a. 10 s
    b. 11 s
    c. 11,5 s
    d. 12 s
    e. 12,5 s

17. Sebuah mobil yang bergerak dengan kecepatan 40 km/jam pada suatu lintasan lurus tiba-tiba direm dan berhenti dalam waktu 5 sekon. Perubahan kecepatan mobil tersebut tiap sekon adalah ....
    a. -1 m/s
    b. -1,2 m/s
    c. -1,5 m/s
    d. -2 m/s
    e. -2,2 m/s
18. Cahyo berlari mengejar sebuah bus kota dengan kecepatan 4,5 m/s. Bus kota telah bergerak selama 2 s dengan percepatan 1 ms^{-2}. Cahyo dapat mengejar bus kota setelah berlari sampai jarak ....
    a. 16 m
    b. 17 m
    c. 18 m
    d. 19 m
    e. 20 m
19. Jika sebuah benda yang dijatuhkan menempuh jarak 19,6 m dalam waktu 2 sekon, maka jarak yang ditempuh benda tersebut setelah 4 sekon adalah ....
    a. 76,4 m
    b. 77,4 m
    c. 78,4 m
    d. 86,6 m
    e. 88,8 m
20. Roda dari sebuah sepeda dortrap berjari-jari 30 cm, sedang jari-jari gir depan dan belakang masing-masing 8 cm dan 3 cm. Jika gir depan berputar tetap dengan kecepatan sudut 5 rad/s, maka waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak 7,2 km tanpa berhenti adalah ....
    a. 10 menit
    b. 20 menit
    c. 30 menit
    d. 40 menit
    e. 50 menit
21. Sebuah benda terletak pada bidang miring dengan sudut kemiringan α terhadap bidang horizontal, ternyata benda tepat akan bergerak turun. Koefisien gesek statis benda terhadap bidang miring adalah ....
    a. sin α
    b. cos α
    c. tg α
    d. ctg α
    e. sec α
22. Sebuah elevator yang bermassa 400 kg bergerak vertikal ke atas dari keadaan diam dengan percepatan tetap sebesar 2 m/s^2. Tegangan tali penarik elevator tersebut adalah ....
    a. 400 N
    b. 800 N
    c. 3.600 N
    d. 4.800 N
    e. 7.200 N
23. Sebuah benda berputar pada sumbu dengan perpindahan sudut yang besarnya dinyatakan oleh persamaan $\theta = 2t^2 + 3t + 5$ (θ dalam radian dan t dalam sekon). Laju linear sebuah titik yang berjarak 50 cm dan sumbu putar pada saat t = 2 s adalah ....
    a. 3 m/s
    b. 3,5 m/s
    c. 4 m/s
    d. 5 m/s
    e. 5,5 m/s

24. Sebuah baling-baling helikopter berputar 900 kali per menit. Kecepatan sudut baling-baling helikopter tersebut dalah ....
a. 94 rad/s
b. 95 rad/s
c. 96 rad/s
d. 97 rad/s
e. 98 rad/s

25. Sebuah benda bermassa 4 kg diikatkan pada seutas tali dan diputar dengan jari-jari 6 m pada kelajuan konstan 12 m/s oleh Superman. Kecepatan sudutnya adalah ....
a. 1 rad/s
b. 2 rad/s
c. 3 rad/s
d. 4 rad/s
e. 5 rad/s

26. Pada label sebuah makanan ringan tertera "berat bersih 100 g". Berat sesungguhnya makanan ringan tersebut adalah ....
a. 100 N
b. 980 N
c. 9,8 N
d. 98 N
e. 0,98 N

27. Sebuah kotak yang massanya 3 kg meluncur di atas lantai sejauh 4 m dalam waktu 2 s. Besarnya gaya yang bekerja pada kotak tersebut adalah ....
a. 4 N
b. 5 N
c. 6 N
d. 7 N
e. 8 N

28. Sebuah traktor menarik beban 275 kg dengan gaya tarik sebesar 440 N. Jika gaya gesek antara traktor dan beban dengan tanah diabaikan, maka percepatan yang dialami beban adalah ....
a. 1 ms^{-2}
b. 1,1 ms^{-2}
c. 1,3 ms^{-2}
d. 1,5 ms^{-2}
e. 1,6 ms^{-2}

29. Sebuah mobil bermassa 800 kg melewati sebuah bukit yang memiliki jari-jari kelengkungan 40 m. Jika kelajuan mobil tersebut sebesar 10 m/s, maka gaya normal yang dialami mobil tersebut adalah ....
a. 7.000 N
b. 8.000 N
c. 9.000 N
d. 10.000 N
e. 11.000 N

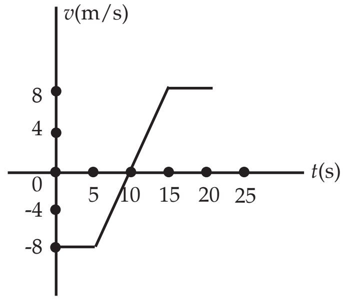
30. Sebuah truk yang bermassa 1.570 kg bergerak dengan kelajuan 17,5 m/s. Jika truk tersebut direm dan berhenti setelah menempuh jarak 94,5 m, maka besar gaya pengeremannya adalah ....
a. -2.000 N
b. -2.440 N
c. -2.540 N
d. -2.544 N
e. -2.654 N

B. Jawablah soal-soal berikut dengan benar!

1. Diketahui persamaan untuk energi potensial adalah $E_p = mgh$. Jika E_p dinyatakan dalam satuan kgm^2s^{-2}, g dalam ms^{-2}, dan h dalam meter, maka tentukan satuan m!

2. Perhatikan gambar grafik berikut!

Tentukan kecepatan rata-rata benda dalam interval waktu t = 5 s sampai t = 15 s dan t = 0 sampai t = 20 s!



3. Jika vektor P memiliki besar 8 pada arah 60° terhadap sumbu X dan vektor Q memiliki besar 6 dan arah -30° terhadap sumbu X, maka tentukan besar dan arah vektor C = P – Q!
4. Sebuah mobil mulai bergerak dari keadaan diam dengan percepatan 0,2 ms^{-2} dalam waktu 2 menit. Kemudian mobil bergerak dengan kecepatan konstan selama 5 menit. Sesudah itu mobil tersebut direm dengan perlambatan 1,5 ms^{-2} sampai akhirnya berhenti. Hitunglah kecepatan maksimum dan jarak total yang ditempuh mobil!
5. Diketahui sebuah mobil balap dapat mencapai kelajuan 50 m/s. Jika mobil tersebut harus berhenti dalam waktu 5 sekon, maka tentukan perlambatan yang harus diberikan pada mobil balap tersebut!
6. Rangga mengendarai sepeda motor dengan kelajuan konstan 18 km/jam selama 12 sekon. Selanjutnya, Rangga memacu motornya selama 16 sekon dengan percepatan rata-rata 1,5 ms^{-2}. Hitunglah jarak total yang ditempuh Rangga dan kecepatan akhirnya!
7. Seorang pemain akrobat memiliki tiga buah bola yang dilempar ke atas dengan kedua tangannya. Bola-bola tersebut dapat berada 1,8 m di atas tangannya. Jika ia memerlukan waktu 0,3 s untuk memindahkan bola dari satu tangan ke tangan yang lain, maka tentukan posisi dua bola yang lain saat sebuah bola berada di puncak ketinggiannya!
8. Sebuah stasiun ruang angkasa milik Indonesia bergerak mengelilingi bumi dalam orbit berbentuk lingkaran pada ketinggian 5×10^2 km. Jika stasiun tersebut memiliki periode revolusi 95 menit, maka tentukan kelajuan orbit dan percepatan sentripetalnya!
9. Humardani yang massanya 59 kg sedang berada di dalam sebuah lift. Berapakah gaya yang dikerjakan Humardani terhadap lantai lift saat lift bergerak ke atas dengan kecepatan 2 m/s dan lift bergerak ke bawah dengan kecepatan 2,8 m/s!
10. Nana diminta membuat sebuah lintasan balap yang berbentuk lingkaran dengan jari-jari 975 m. Jika kelajuan rata-rata mobil balap yang akan berlomba rata-rata 240 km/jam dan grafitasi bumi 9,8 m/s^2, maka tentukan sudut kemiringan yang harus dibuat Nana agar mobil dapat melaju dengan aman!



Bab V

Alat-Alat Optik

Tujuan Pembelajaran

- *Anda dapat menganalisis alat-alat optik secara kualitatif dan kuantitatif, serta dapat menerapkan alat-alat optik dalam kehidupan sehari-hari.*



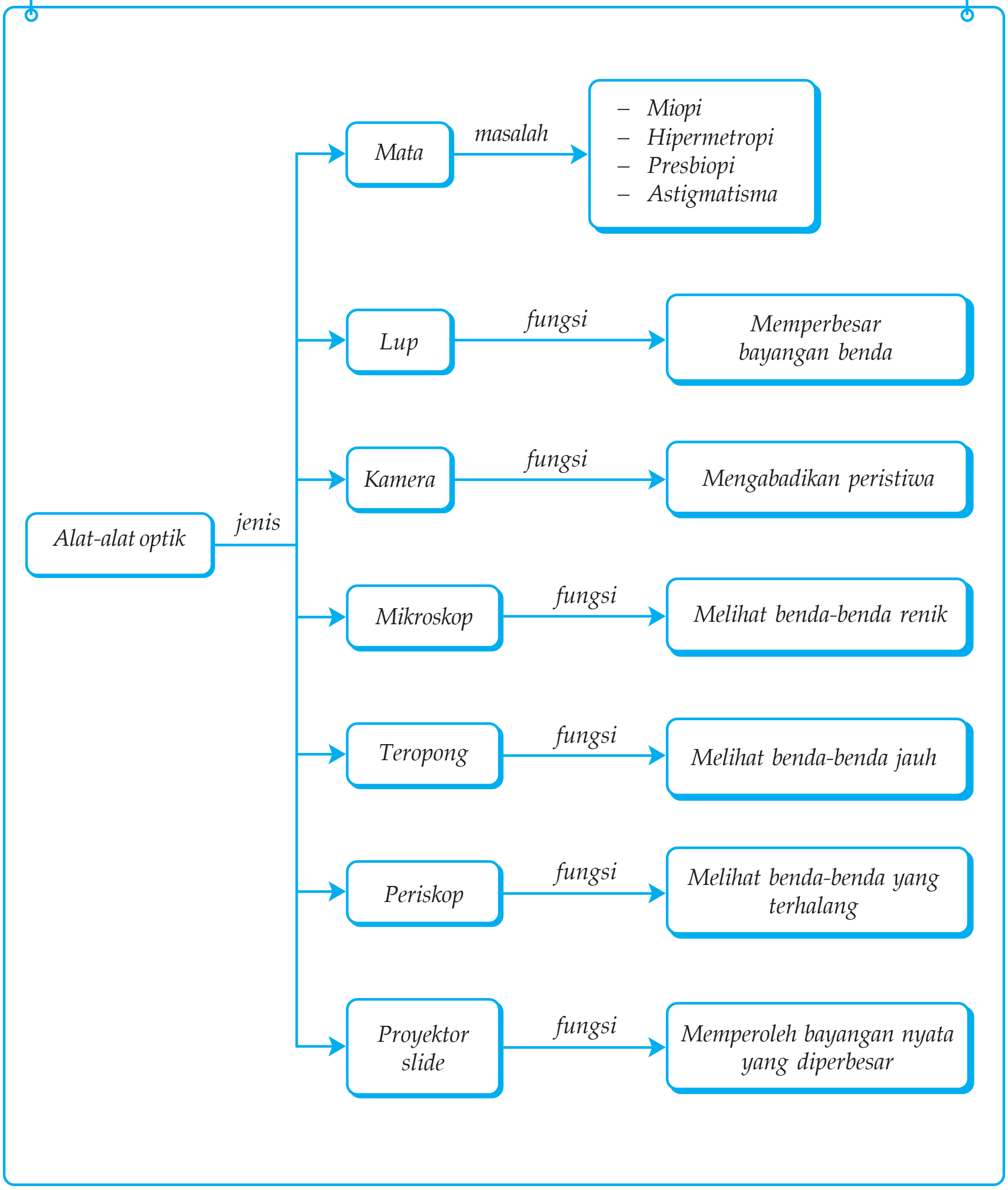
Sumber: Jendela Iptek, Cahaya

“Teropong Kecemburuan” seperti gambar di atas dibuat pada tahun 1780. Teropong ini dirancang agar orang mengira bahwa seseorang yang mengenakannya melihat ke depan, padahal orang tersebut sebenarnya melihat ke samping. Teropong ini dibuat untuk mereka yang sebenarnya ingin melihat penonton di sampingnya daripada pertunjukan di atas panggung.

Kata Kunci

- Akomodasi
- Cahaya
- Dioptri
- Kamera
- Hipermetropi
- Lup
- Mata
- Mikroskop
- Miopi
- Presbiopi
- Optik
- Retina
- Lensa Objektif
- Lensa Okuler
- Teropong
- Titik Fokus

Peta Konsep


Alat-alat optik
jenis
Mata
masalah
– Miopi
– Hipermetropi
– Presbiopi
– Astigmatisma
Lup
fungsi
Memperbesar bayangan benda
Kamera
fungsi
Mengabadikan peristiwa
Mikroskop
fungsi
Melihat benda-benda renik
Teropong
fungsi
Melihat benda-benda jauh
Periskop
fungsi
Melihat benda-benda yang terhalang
Proyektor slide
fungsi
Memperoleh bayangan nyata yang diperbesar

Di SMP Anda telah mempelajari tentang cahaya. Sifat-sifat cahaya yang telah Anda pelajari, antara lain, cahaya merambat lurus dalam medium, mengalami pembiasan, dan pemantulan. Cahaya termasuk dalam gelombang elektromagnetik. Materi tentang gelombang elektromagnetik akan Anda bahas lebih mendalam di bab VII.

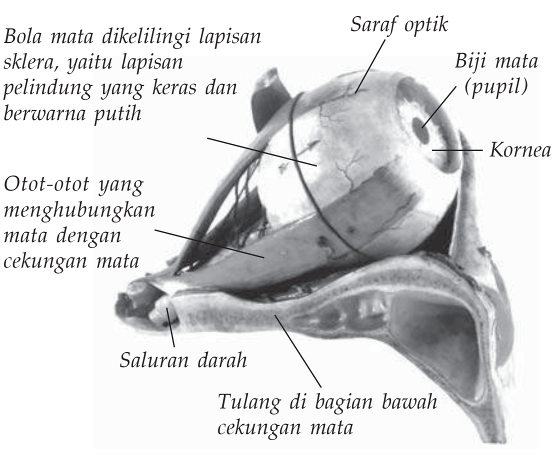
Adakah di antara teman sekelas Anda yang memakai kacamata? Pernahkah Anda menggunakan mikroskop atau lup saat melakukan percobaan di laboratorium? Atau pernahkah Anda melihat orang sedang memotret? Alat-alat yang digunakan dalam kegiatan tersebut dinamakan alat-alat optik.

Alat optik merupakan alat yang bekerja berdasarkan prinsip cahaya. Alat optik membuat hidup manusia lebih mudah dan berarti. Anda dapat menikmati keindahan alam semesta, mengabadikan saat-saat terindah pada lembaran foto, atau bahkan bisa membuat sehelai rambut di kepala menjadi terlihat sebesar lengan.

Pada bab ini Anda akan mempelajari tentang alat-alat optik. Anda akan diajak menganilis alat-alat optik tersebut secara kualitatif dan kuantitatif. Anda juga akan diminta mencari dan menerapkan alat-alat optik tersebut dalam kehidupan sehari-hari.

A. Mata

Setiap manusia memiliki alat optik tercanggih yang pernah ada, yaitu *mata*. Mata merupakan bagian dari pancaindra yang berfungsi untuk melihat. Mata membantu Anda menikmati keindahan alam, melihat teman-teman, mengamati benda-benda di sekeliling, dan masih banyak lagi yang dapat Anda nikmati melalui mata. Coba bayangkan bila manusia tidak mempunyai mata atau mata Anda buta, tentu dunia ini terlihat gelap gulita.



Sumber: Jendela Iptek, Cahaya

Gambar 5.1 *Bagian-bagian mata.*

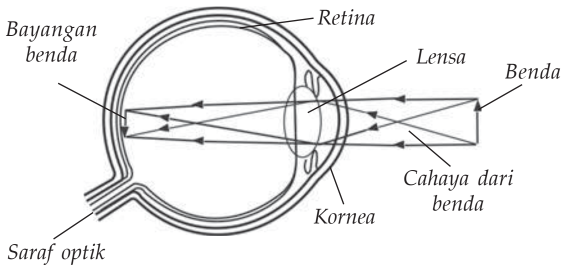
Apabila diamati, ternyata mata terdiri atas beberapa bagian yang masing-masing mempunyai fungsi berbeda-beda tetapi saling mendukung. Bagian-bagian mata yang penting tersebut, antara lain, kornea, pupil, iris, *aquaeus humour*, otot akomodasi, lensa mata, retina, *vitreous humour*, bintik kuning, bintik buta, dan saraf mata.

1. *Kornea*. Kornea merupakan bagian luar mata yang tipis, lunak, dan transparan. Kornea berfungsi menerima dan meneruskan cahaya yang masuk pada mata, serta melindungi bagian mata yang sensitif di bawahnya.
2. *Pupil*. Pupil merupakan celah sempit berbentuk lingkaran dan berfungsi agar cahaya dapat masuk ke dalam mata.
3. *Iris*. Iris adalah selaput berwarna hitam, biru, atau coklat yang berfungsi untuk mengatur besar kecilnya pupil. Warna inilah yang Anda lihat sebagai warna mata seseorang.
4. *Aquaeus Humour*. *Aquaeus humour* merupakan cairan di depan lensa mata untuk membiaskan cahaya ke dalam mata.
5. *Otot Akomodasi*. Otot akomodasi adalah otot yang menempel pada lensa mata dan berfungsi untuk mengatur tebal dan tipisnya lensa mata.
6. *Lensa Mata*. Lensa mata berbentuk cembung, berserat, elastis, dan bening. Lensa ini berfungsi untuk membiaskan cahaya dari benda supaya terbentuk bayangan pada retina.
7. *Retina*. Retina adalah bagian belakang mata yang berfungsi sebagai tempat terbentuknya bayangan.
8. *Vitreous Humour*. *Vitreous humour* adalah cairan di dalam bola mata yang berfungsi untuk meneruskan cahaya dari lensa ke retina.
9. *Bintik Kuning*. Bintik kuning adalah bagian dari retina yang berfungsi sebagai tempat terbentuknya bayangan yang jelas.
10. *Bintik Buta*. Bintik buta adalah bagian dari retina yang apabila bayangan jatuh pada bagian ini, maka bayangan tampak tidak jelas atau kabur.
11. *Saraf Mata*. Saraf mata befungsi untuk meneruskan rangsangan bayangan dari retina menuju ke otak.

Bagaimana proses terlihatnya suatu benda oleh mata? Benda yang berada di depan mata memantulkan cahaya. Cahaya tersebut masuk ke mata melalui pupil yang kemudian akan dibiaskan oleh lensa mata sehingga terbentuk bayangan pada retina. Oleh saraf, bayangan tadi diteruskan ke pusat saraf (otak), sehingga Anda terkesan melihat benda.

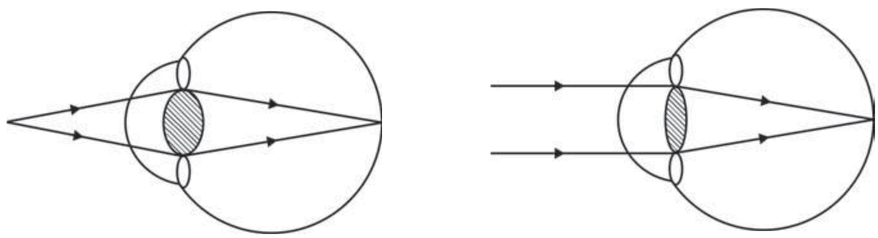
1. Daya Akomodasi Mata

Bola mata Anda bentuknya tetap, sehingga jarak lensa mata ke retina juga tetap. Hal ini berarti jarak bayangan yang dibentuk lensa mata selalu tetap, padahal jarak benda yang Anda lihat berbeda. Bagaimana supaya Anda tetap dapat melihat benda dengan jarak bayangan yang terbentuk tetap, meskipun jarak benda yang dilihat berubah? Tentu Anda harus mengubah jarak fokus lensa mata, dengan cara mengubah kecembungan lensa mata. Hal inilah yang menyebabkan Anda bisa melihat benda yang memiliki jarak berbeda tanpa mengalami kesulitan. Kemampuan ini merupakan karunia Tuhan yang sampai sekarang manusia belum bisa menirunya.



Gambar 5.2 Pembentukan bayangan pada mata.

Lensa mata dapat mencembung atau pun memipih secara otomatis karena adanya otot akomodasi (otot siliar). Untuk melihat benda yang letaknya dekat, otot siliar menegang sehingga lensa mata mencembung dan sebaliknya untuk melihat benda yang letaknya jauh, otot siliar mengendur (rileks), sehingga lensa mata memipih. Kemampuan otot mata untuk menebalkan atau memipihkan lensa mata disebut *daya akomodasi mata*.



(a) Mata memandang benda berjarak dekat *(b) Mata memandang benda berjarak jauh*

Gambar 5.3 Kondisi lensa mata saat melihat benda.

Agar benda/objek dapat terlihat jelas, objek harus terletak pada daerah penglihatan mata, yaitu antara titik dekat dan titik jauh mata. Titik dekat (*punctum proximum = pp*) adalah titik terdekat yang masih dapat dilihat dengan jelas oleh mata (± 25 cm). Pada titik dekat ini lensa mata akan mencembung maksimal. Titik jauh (*punctum remotum = pr*) adalah titik terjauh yang masih dapat dilihat dengan jelas oleh mata, jaraknya tak terhingga. Pada titik jauh ini, lensa mata akan memipih maksimal.

Kolom Diskusi 5.1

Di SMP Anda telah mempelajari tentang cacat mata. Sekarang diskusikan kembali cacat mata-cacat mata tersebut dengan teman sebangkumu. Tentukan cara mencari kekuatan lensa yang dapat digunakan untuk mengatasi cacat tersebut. Tulis persamaan matematis yang Anda gunakan dan bandingkan dengan hasil teman Anda yang lain bangku. Komunikasikan hasil tersebut dengan guru Anda dan tanyakan persamaan matematis mana yang benar jika ada perbedaan! Persamaan-persamaan matematis tersebut dapat Anda gunakan untuk menyelesaikan persoalan matematis yang ada pada bab ini.

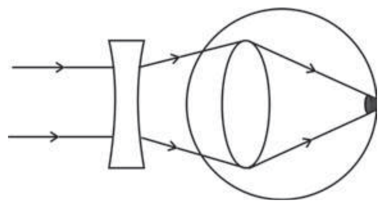
2. Cacat Mata

Tidak semua mata manusia dapat membentuk bayangan tepat pada retina, ada mata yang mengalami anomali. Hal ini dapat terjadi karena daya akomodasi mata sudah berkurang sehingga titik jauh atau titik dekat mata sudah bergeser. Keadaan mata yang demikian disebut *cacat mata*.

Cacat mata yang diderita seseorang dapat disebabkan oleh kerja mata (kebiasaan mata) yang berlebihan atau cacat sejak lahir.

a. Miopi (Rabun Jauh)

Miopi adalah kondisi mata yang tidak dapat melihat dengan jelas benda-benda yang letaknya jauh. Penderita miopi titik jauhnya lebih dekat daripada tak terhingga (titik jauh < ~) dan titik dekatnya kurang dari 25 cm. Hal ini terjadi karena lensa mata tidak dapat dipipihkan sebagaimana mestinya sehingga bayangan dari benda yang letaknya jauh akan jatuh di depan retina. Untuk dapat melihat benda-benda yang letaknya jauh agar nampak jelas, penderita miopi ditolong dengan kaca mata berlensa cekung (negatif).



Gambar 5.4 *Miopi menyebabkan kesulitan melihat benda yang jauh. Penderita miopi dapat ditolong dengan lensa cekung.*

Miopi dapat terjadi karena mata terlalu sering/terbiasa melihat benda yang dekat. Cacat mata ini sering dialami tukang jam, tukang las, operator komputer, dan sebagainya.

Contoh 5.1

Seorang penderita miopi mempunyai titik jauh 100 cm. Berapakah kekuatan lensa kacamata yang harus dipakai orang tersebut agar dapat melihat benda jauh dengan normal?

Diketahui : $s = \infty$

$s' = -100$ cm (tanda negatif menunjukkan bayangan bersifat maya dan terletak di depan lensa)

Ditanyakan: $P = \ldots ?$

Jawab :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\infty} - \frac{1}{100}$$

$$\frac{1}{f} = 0 - \frac{1}{100}$$

$$\frac{1}{f} = -\frac{1}{100}$$

$$f = -100 \text{ cm}$$
$$= -1 \text{ m}$$

$$P = \frac{1}{f}$$

$$= -\frac{1}{1}$$

$$= -1 \text{ dioptri}$$

Jadi, kekuatan lensa kaca mata yang harus dipakai adalah -1 dioptri.

b. Hipermetropi

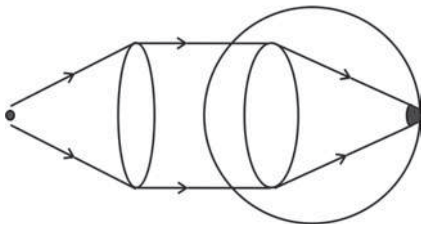
Hipermetropi adalah cacat mata dimana mata tidak dapat melihat dengan jelas benda-benda yang letaknya dekat. Titik dekatnya lebih jauh daripada titik dekat mata normal (titik dekat > 25 cm). Pernahkah Anda melihat orang yang membaca koran dengan letak koran yang agak dijauhkan? Orang semacam itulah yang dikatakan menderita hipermetropi.

Penderita hipermetropi hanya dapat melihat dengan jelas benda-benda yang letaknya jauh sehingga cacat mata ini sering disebut *mata terang jauh*. Hipermetropi disebabkan lensa mata terlalu pipih dan sulit dicembungkan sehingga bila melihat benda-benda yang letaknya dekat, bayangannya jatuh di belakang retina. Supaya dapat melihat benda-benda yang letaknya dekat dengan jelas, penderita hipermetropi ditolong dengan kaca mata berlensa cembung (positif).



Sumber: Foto Haryana

(a) Membaca dengan jarak yang dijauhkan



(b) Lensa cembung membantu penderita hipermetropi untuk melihat benda yang letaknya dekat dengan jelas

Gambar 5.5 *Hipermetropi membuat kesulitan melihat benda yang dekat.*

Hipermetropi dapat terjadi karena mata terlalu sering/terbiasa melihat benda-benda yang jauh. Cacat mata ini sering dialami oleh orang-orang yang bekerja sebagai sopir, nahkoda, pilot, masinis, dan sebagainya.

Contoh 5.2

Reni yang menderita rabun dekat mempunyai titik dekat 50 cm. Jika ingin membaca dengan jarak normal (25 cm), maka berapa kekuatan lensa kacamata yang harus dipakai Reni?

Diketahui : s = 25 cm

s' = -50 cm (tanda negatif menunjukkan bayangan bersifat maya, di depan lensa)

Ditanyakan: P = ... ?

Jawab :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{25} - \frac{1}{50}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{50} - \frac{1}{50}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{50}$$

f = 50 cm = 0,5 m

$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ dioptri}$$

Jadi, kekuatan lensa kaca mata yang harus dipakai Reni adalah 2 dioptri.

c. Presbiopi (Mata Tua)

Orang-orang yang sudah tua, biasanya daya akomodasinya sudah berkurang. Pada mata presbiopi, titik dekatnya lebih jauh daripada titik dekat mata normal (titik dekat > 25 cm) dan titik jauhnya lebih dekat daripada titik jauh mata normal (titik jauh < ~). Oleh karena itu, penderita presbiopi tidak dapat melihat benda-benda yang letaknya dekat maupun jauh.



Gambar 5.6 *Presbiopi sering melanda orang tua.*

Untuk dapat melihat jauh dengan jelas dan untuk membaca pada jarak normal, penderita presbiopi dapat ditolong dengan kaca mata berlensa rangkap (kacamata bifokal). Kacamata bifokal adalah kaca mata yang terdiri atas dua lensa, yaitu lensa cekung dan lensa cembung. Lensa cekung berfungsi untuk melihat benda jauh dan lensa cembung untuk melihat benda dekat/membaca.

d. Astigmatisma

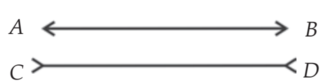
Astigmatisma adalah cacat mata dimana kelengkungan selaput bening atau lensa mata tidak merata sehingga berkas sinar yang mengenai mata tidak dapat terpusat dengan sempurna. Cacat mata astigmatisma tidak dapat membedakan garis-garis tegak dengan garis-garis mendatar secara bersama-sama. Cacat mata ini dapat ditolong dengan kaca mata berlensa silinder.

Kegiatan 5.1

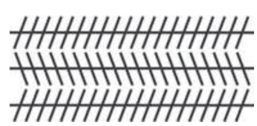
Ada berapa di antara teman sekelas Anda yang menggunakan kacamata karena matanya kurang sempurna? Carilah informasi penyebab mereka menderita cacat tersebut! Buatlah kesimpulan dari kegiatan tersebut dan kumpulkan di meja guru!

3. Tipuan Mata

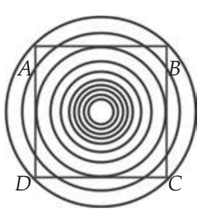
Selain memiliki banyak keunggulan, mata manusia juga memiliki beberapa keterbatasan. Oleh karena itu, dalam pengamatan dan pengukuran, mata tidak selalu memberikan hal-hal yang benar. Sebagai bukti, amatilah Gambar 5.7 berikut!



(a) Samakah panjang garis AB dengan garis panjang CD?



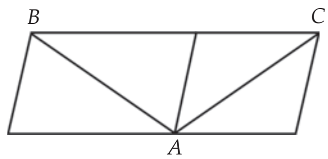
(b) Apakah 3 garis tersebut sejajar?



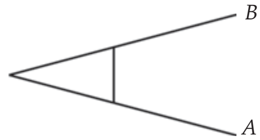
(c) Apakah garis AB, BC, CD, dan DA lurus?



(d) Apakah lingkaran yang di tengah besarnya sama?



(e) Lebih panjang yang mana antara garis AB dan AC?



(f) Lebih panjang mana antara garis A dan B?

Gambar 5.7 *Beberapa contoh tipuan mata.*

Soal Kompetensi 5.1

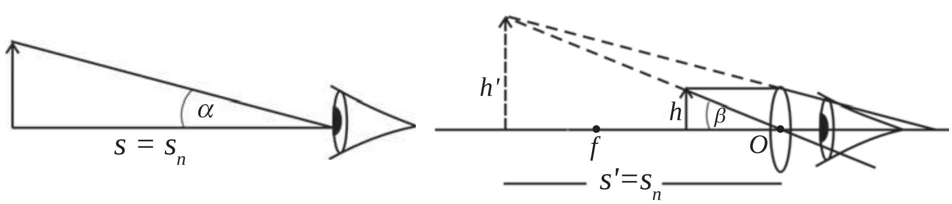
1. Pada foto berwarna yang dibuat dengan cahaya lampu kuat dengan kamera yang agak gelap, mata Anda terlihat merah. Mengapa?
2. Bagaimana cara Anda agar tidak mudah terkena penyakit-penyakit mata?
3. Mengapa orang yang menderita miopi harus ditolong dengan kacamata berlensa negatif? Jelaskan dengan bahasa Anda sendiri!
4. Setelah diperiksa oleh dokter, Dino disarankan untuk mengganti kacamatanya dari -1 dioptri menjadi -1,5. Hitunglah pergeseran titik jauh Dino!

B. Lup (Kaca Pembesar)

Lup atau kaca pembesar adalah alat optik yang terdiri atas sebuah lensa cembung. Lup digunakan untuk melihat benda-benda kecil agar nampak lebih besar dan jelas. Ada 2 cara dalam menggunakan lup, yaitu dengan mata berakomodasi dan dengan mata tak berakomodasi.



Gambar 5.8 *Lup.*



(a) Mengamati langsung *(b) Memakai lup*

Gambar 5.9 *Mengamati benda dengan mata berakomodasi.*

Pada saat mata belum menggunakan lup, benda tampak jelas bila diletakkan pada titik dekat pengamat ($s = s_n$) sehingga mata melihat benda dengan sudut pandang α. Pada Gambar 5.9 (b), seorang pengamat menggunakan lup dimana benda diletakkan antara titik *O* dan *F* (di ruang I) dan diperoleh bayangan yang terletak pada titik dekat mata pengamat ($s' = s_n$). Karena sudut pandang mata menjadi lebih besar, yaitu β, maka mata pengamat berakomodasi maksimum.

Untuk mata normal dan berakomodasi maksimum, bayangan yang terbentuk berada pada jarak baca normal (s_n) yaitu 25 cm. Oleh karena itu, perbesaran bayangan pada lup dapat dituliskan $M = \frac{s'}{s}$, karena s' = 25 cm, maka perbesarannya menjadi $M = \frac{25}{s}$.

Lup terbuat dari sebuah lensa cembung, sehingga persamaan lup sama dengan persamaan lensa cembung.

$$f = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \qquad \text{atau} \qquad \frac{1}{s} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s'}$$

Perbesaran bayangan (*M*):

$$M = \frac{25}{s}$$

$$M = 25\left(\frac{1}{s}\right)$$

$$M = 25\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{s'}\right)$$

$$M = \frac{25}{f} - \frac{25}{s'}$$

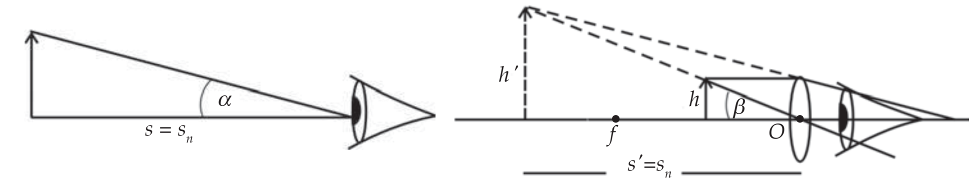
Untuk mata berakomodasi maksimum s' = -25 cm (tanda negatif (-) menunjukkan bayangan di depan lensa) sehingga diperoleh:

$$M = \frac{25}{f} - \frac{25}{-25} \qquad \text{atau} \qquad M = \frac{25}{f} + 1$$

Keterangan:
M : perbesaran bayangan
f : jarak fokus lup

Sifat bayangan yang dihasilkan lup adalah maya, tegak, dan diperbesar.

Menggunakan lup untuk mengamati benda dengan mata berakomodasi maksimum cepat menimbulkan lelah. Oleh karena itu, pengamatan dengan menggunakan lup sebaiknya dilakukan dengan mata tak berakomodasi (mata dalam keadaan rileks). Menggunakan lup dengan mata tak berakomodasi dapat diperoleh bila benda diletakkan pada titik fokus lup ($s = f$).



(a) Mengamati langsung *(b) Memakai lup*

Gambar 5.10 *Mengamati benda dengan mata tak berakomodasi.*

Untuk mata tak berakomodasi, bayangan terbentuk di tak terhingga ($s' = \infty$) sehingga perbesaran bayangan yang dibentuk lup untuk mata tak berakomodasi adalah sebagai berikut.

$$M = \frac{25}{f} - \frac{25}{s'}$$

$$M = \frac{25}{f} - \frac{25}{\infty} \quad \text{karena } \frac{25}{\infty} = 0\text{, maka:} \quad \boxed{M = \frac{25}{f}}$$

Pada kehidupan sehari-hari, lup biasanya digunakan oleh tukang arloji, pedagang kain, pedagang intan, polisi, dan sebagainya.

Contoh 5.3

Sebuah lup berfokus 5 cm digunakan untuk mengamati benda yang panjangnya 2 mm. Tentukan panjang bayangan benda apabila mata tak berakomodasi dan mata berakomodasi maksimum!

Diketahui : f = 5 cm,
h = 2 mm = 0,2 cm

Ditanya : a. h' untuk mata tak berakomodasi = ...?
b. h' untuk mata berakomodasi maksimum = ...?

Jawab :

a. $M = \frac{25}{f} = \frac{25}{5} = 5$ kali

$M = \frac{h'}{h} \Rightarrow h' = M \times h = 5 \times 0{,}2 = 1$ cm

b. $M = \frac{25}{5} + 1$

$= 5 + 1$

$= 6$ kali

$M = \frac{h'}{h} \Rightarrow h' = M \times h$

$= 6 \times 0{,}2$

$= 1{,}2$ cm

Soal Kompetensi 5.2

1. Apa yang Anda ketahui tentang lup?
2. Sebutkan beberapa contoh kegunaan lup dalam kehidupan sehari-hari!
3. Butet yang bermata normal mengamati sebuah benda dengan lup berkekuatan 5 dioptri. Tentukan perbesaran bayangan apabila mata Butet tak berakomodasi dan berakomodasi maksimum!

C. Kamera

Kamera adalah alat yang digunakan untuk menghasilkan bayangan fotografi pada film negatif. Pernahkah Anda menggunakan kamera? Biasanya Anda menggunakan kamera untuk mengabadikan kejadian-kejadian penting.

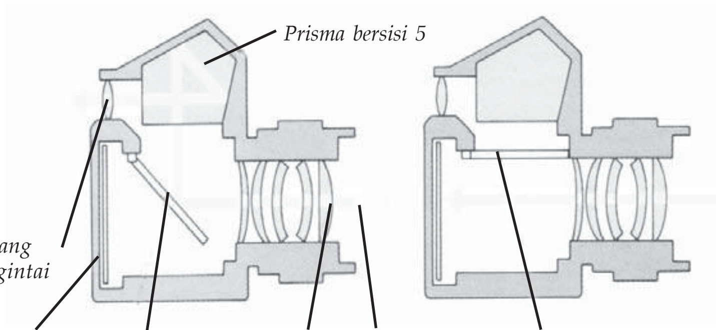


Sumber: Jendela Iptek

Gambar 5.11 *Mengabadikan kejadian dengan kamera.*

Kamera terdiri atas beberapa bagian, antara lain, sebagai berikut.

1. Lensa cembung, berfungsi untuk membiaskan cahaya yang masuk sehingga terbentuk bayangan yang nyata, terbalik, dan diperkecil.
2. Diafragma, adalah lubang kecil yang dapat diatur lebarnya dan berfungsi untuk mengatur banyaknya cahaya yang masuk melalui lensa.
3. Apertur, berfungsi untuk mengatur besar-kecilnya diafragma.
4. Pelat film, berfungsi sebagai tempat bayangan dan menghasilkan gambar negatif, yaitu gambar yang berwarna tidak sama dengan aslinya, tembus cahaya.



Gambar 5.12 *Bagian-bagian kamera.*

Untuk memperoleh hasil pemotretan yang bagus, lensa dapat Anda geser maju mundur sampai terbentuk bayangan paling jelas dengan jarak yang tepat, kemudian Anda tekan tombol *shutter*.

Pelat film menggunakan pelat seluloid yang dilapisi dengan gelatin dan perak bromida untuk menghasilkan negatifnya. Setelah dicuci, negatif tersebut dipakai untuk menghasilkan gambar positif (gambar asli) pada kertas foto. Kertas foto merupakan kertas yang ditutup dengan lapisan tipis kolodium yang dicampuri dengan perak klorida. Gambar yang ditimbulkan pada bidang transparan disebut *gambar diapositif*.

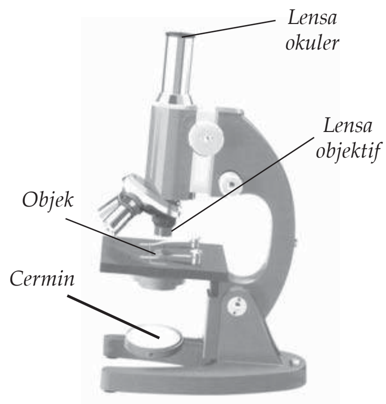
Soal Kompetensi 5.3

1. Coba jelaskan dengan bahasa Anda sendiri mengenai cara menggunakan kamera SLR yang baik!
2. Mengapa terkadang cetakan negatif dari film terlihat terlalu gelap atau terlalu terang? Jelaskan!
3. Buatlah gambar prinsip kamera sederhana!
4. Mengapa pada kamera biasanya menggunakan lensa cembung dan lensa cekung yang direkat menjadi satu!

D. Mikroskop

Mikroskop adalah alat yang digunakan untuk melihat benda-benda kecil agar tampak jelas dan besar. Mikroskop terdiri atas dua buah lensa cembung. Lensa yang dekat dengan benda yang diamati (objek) disebut *lensa objektif* dan lensa yang dekat dengan pengamat disebut *lensa okuler*. Mikroskop yang memiliki dua lensa disebut *mikroskop cahaya lensa ganda*.

Karena mikroskop terdiri atas dua lensa positif, maka lensa objektifnya dibuat lebih kuat daripada lensa okuler (fokus lensa objektif lebih pendek daripada fokus lensa okuler). Hal ini dimaksudkan agar benda yang diamati kelihatan sangat besar dan mikroskop dapat dibuat lebih praktis (lebih pendek).



Sumber: Kamus Visual

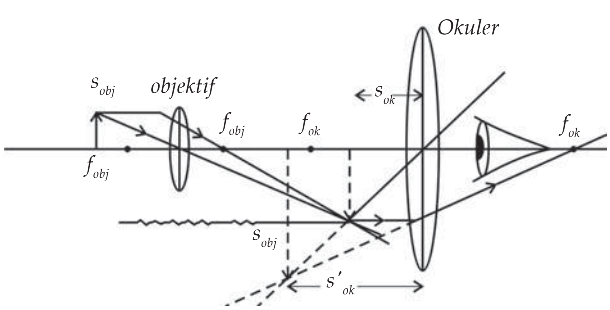
Gambar 5.13 *Bagian-bagian mikroskop.*

Benda yang akan amati diletakkan pada sebuah kaca preparat di depan lensa objektif dan berada di ruang II lensa objektif ($f_{obj} < s < 2\ f_{obj}$). Hal ini menyebabkan bayangan yang terbentuk bersifat nyata, terbalik dan diperbesar. Bayangan yang dibentuk lensa objektif merupakan benda bagi lensa okuler.

Untuk memperoleh bayangan yang jelas, Anda dapat menggeser lensa okuler dengan memutar tombol pengatur. Supaya bayangan terlihat terang, di bawah objek diletakkan sebuah cermin cekung yang berfungsi untuk mengumpulkan cahaya dan diarahkan pada objek. Ada dua cara dalam menggunakan mikroskop, yaitu dengan mata berakomodasi maksimum dan dengan mata tak berakomodasi.

1. Penggunaan Mikroskop dengan Mata Berakomodasi Maksimum

Pada mikroskop, lensa okuler berfungsi sebagai lup. Pengamatan dengan mata berakomodasi maksimum menyebabkan bayangan yang dibentuk oleh lensa objektif harus terletak di ruang I lensa okuler (di antara O_{ok} dan f_{ok}). Hal ini bertujuan agar bayangan akhir yang dibentuk lensa okuler tepat pada titik dekat mata pengamat. Lukisan bayangan untuk mata berakomodasi maksimum dapat dilihat pada Gambar 5.14.



Gambar 5.14 *Pembentukan bayangan pada mikroskop untuk mata berakomodasi maksimum.*

Secara matematis perbesaran bayangan untuk mata berakomodasi maksimum dapat ditulis sebagai berikut.

$M = M_{obj} \times M_{ok}$ karena $M_{lup} = \frac{s_n}{f} + 1$, maka:

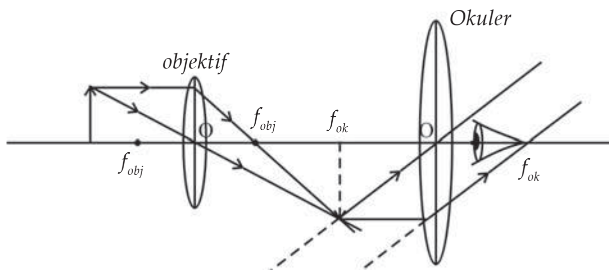
$$M = \frac{s'_{obj}}{s_{obj}} \times \left(\frac{s_n}{s_{ok}} + 1 \right) \quad \text{atau} \quad M = \frac{s'_{obj}}{s_{obj}} \times \left(\frac{25}{f_{ok}} + 1 \right)$$

Panjang mikroskop (tubus) dapat dinyatakan:

$$L = s'_{obj} + s_{ok}$$

2. Penggunaan Mikroskop pada Mata Tak Berakomodasi

Agar mata pengamat dalam menggunakan mikroskop tidak berakomodasi, maka lensa okuler harus diatur/digeser supaya bayangan yang diambil oleh lensa objektif tepat jatuh pada fokus lensa okuler. Lukisan bayangan untuk mata tak berakomodasi dapat dilihat pada Gambar 5.15.



***Gambar 5.15** Pembentukan bayangan pada mikroskop untuk mata tak berakomodasi.*

Perbesaran bayangan pada mata tak berakomodasi dapat ditulis sebagai berikut.

$M = M_{obj} \times M_{ok}$ karena $M_{lup} = \frac{s_n}{f}$, maka:

$$\frac{s'_{obj}}{s_{obj}} \times \left(\frac{s_n}{f_{ok}} \right) \quad \text{atau} \quad M = \frac{s'_{obj}}{s_{obj}} \times \frac{25}{f_{ok}}$$

Panjang mikroskop (jarak tubus) dapat dinyatakan:

$$L = s'_{obj} + f_{ok}$$

Keterangan:

s'_{obj} : jarak bayangan objektif
s'_{ok} : jarak bayangan okuler
s_{obj} : jarak objektif
s_{ok} : jarak benda okuler
f_{obj} : jarak fokus lensa objektif
f_{ok} : jarak fokus lensa okuler
M_{obj} : perbesaran bayangan lensa objektif
M_{ok} : perbesaran bayangan lensa okuler
M : perbesaran total mikroskop
L : panjang mikroskop (jarak tubus) = jarak antara lensa objektif dengan lensa okuler

Contoh 5.4

1. Perbesaran total sebuah mikroskop adalah 100×, jika perbesaran yang dibentuk lensa objektif 5×, berapa perbesaran lensa okulernya?

   Diketahui : M_{tot} = 100×,
   M_{obj} = 5×
   Ditanya : M_{ok} = ...?
   Jawab :

   $$M = M_{obj} \times M_{ok} \Rightarrow M_{ok} = \frac{100}{5}$$
   $$= 20 \text{ kali}$$

2. Sebuah benda berada pada jarak 2,5 cm di depan lensa objektif yang berfokus 2 cm. Bila fokus lensa okuler 10 cm dan jarak antara lensa objektif dan lensa okuler 14 cm, maka hitunglah perbesaran mikroskop total dan perbesaran mikroskop bila mata berakomodasi maksimum!

   Diketahui : s_{obj} = 2,5 cm
   f_{obj} = 2 cm
   f_{ok} = 10 cm
   L = 14 cm
   Ditanyakan: a. M_{tot} = ...?
   b. $M_{\text{mata berakomodasi maksimum}}$ = ...?

Jawab :

a. Lensa Objektif

$$\frac{1}{f_{obj}} = \frac{1}{s_{obj}} + \frac{1}{s'_{obj}}$$

$$\frac{1}{s'_{obj}} = \frac{1}{f_{obj}} - \frac{1}{s_{obj}}$$

$$\frac{1}{s'_{obj}} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2,5}$$

$$= \frac{5}{10} - \frac{4}{10} = \frac{1}{10}$$

$$s'_{obj} = 10 \text{ cm}$$

$$M_{obj} = \frac{s'_{obj}}{s_{obj}} = \frac{10}{2,5} = 4 \text{ kali}$$

Lensa Okuler

$$s_{ok} = L - s'_{obj} = 14 - 10 = 4 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{f_{ok}} = \frac{1}{s_{ok}} + \frac{1}{s'_{ok}}$$

$$\frac{1}{s'_{ok}} = \frac{1}{f_{ok}} - \frac{1}{s_{ok}}$$

$$\frac{1}{s'_{ok}} = \frac{1}{10} - \frac{1}{4}$$

$$\frac{1}{s'_{ok}} = \frac{2}{20} - \frac{5}{20}$$

$$s'_{ok} = -\frac{3}{20}$$

$$M_{ok} = \left|\frac{s'_{ok}}{s_{ok}}\right| = \left|\frac{-\frac{20}{3}}{4}\right| = \frac{20}{12} = 1\frac{2}{3} \text{ kali}$$

Maka perbesaran mikroskop total adalah:

$$M_{tot} = M_{obj} \times M_{ok} = 4 \times 1\frac{2}{3} = 6\frac{2}{3} \text{ kali}$$

b. Perbesaran mikroskop bila mata berakomodasi maksimum

$$M = M_{obj} \times \left(\frac{25}{f} + 1\right)$$

$$= 4 \times \left(\frac{25}{10} + 1\right)$$

$$= 4 \times 3,5$$

$$= 14 \text{ kali}$$

Untuk lebih memahami tentang mikroskop, lakukanlah kegiatan berikut!

Kegiatan 5.2

Prinsip Kerja Mikroskop

A. Tujuan

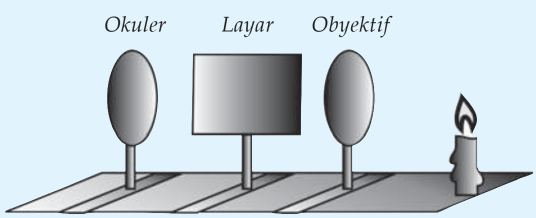
Anda dapat mengetahui prinsip kerja mikroskop.

B. Alat dan Bahan

Meja optik, lilin, layar, lensa cembung yang jarak titik fokusnya 5 cm (sebagai lensa objektif), dan 10 cm (sebagai lensa okuler).

C. Langkah Kerja

1. Letakkan lilin, lensa, dan layar seperti gambar berikut!



2. Atur jarak lilin di depan lensa objektif antara 6 – 7 cm!
3. Geser-geserlah layar sehingga terbentuk bayangan nyata yang tajam!
4. Atur jarak lensa okuler sejauh 6 – 7 cm!
5. Amati bayangan yang terbentuk pada layar!
6. Apa kesimpulan Anda?

Berdasarkan kegiatan di atas, maka Anda peroleh sifat-sifat bayangan yang terbentuk pada mikroskop sebagai berikut.

1. Bayangan yang dibentuk lensa objektif adalah nyata, terbalik, dan diperbesar.
2. Bayangan yang dibentuk lensa okuler adalah maya, tegak, dan diperbesar.
3. Bayangan yang dibentuk mikroskop adalah maya, terbalik, dan diperbesar terhadap bendanya.

T o k o h

Antoni Van Leeuwenhoek
(1632 - 1723)


Sumber: Jendela Iptek

Leuweenhoek adalah seorang ahli fisika dan biologi, pelopor riset mikroskopik yang dilahirkan di Delf, Belanda. Pada usia 21 tahun ia membuka toko kain dan mulai menggunakan kaca pembesar sederhana buatannya sendiri untuk memeriksa kualitas kainnya.

Mikroskop Leuweenhoek tidak lebih besar daripada ibu jari. Mikroskop tersebut terbuat dari logam, lensa tunggalnya mempunyai tebal kira-kira 1 milimeter dan panjang fokusnya begitu pendek sehingga dalam menggunakannya harus dipegang dekat sekali dengan mata. Pertama kali Leuweenhoek membuat mikroskop hanya sebagai hobi.

Pada tahun 1974, Leuweenhoek menemukan hewan-hewan bersel satu, yaitu protozoa. Ia katakan bahwa setetes air bisa menjadi rumah satu juta hewan-hewan kecil tersebut. Leuweenhoek hidup dalam ketenaran, ia dikunjungi raja-raja pada saat itu. Menjelang kematiannya pada usia 90 tahun, ia telah membuat lebih dari 400 mikroskop.

(Dikutip seperlunya dari 100 Ilmuwan, *John Hudson Tiner, 2005)*

E. Teropong

Teropong atau *teleskop* adalah alat yang digunakan untuk melihat benda-benda yang jauh agar tampak lebih jelas dan dekat. Ditinjau dari objeknya, teropong dibedakan menjadi dua, yaitu teropong bintang dan teropong medan.

1. Teropong Bintang

Teropong bintang adalah teropong yang digunakan untuk melihat atau mengamati benda-benda langit, seperti bintang, planet, dan satelit. Nama lain teropong bintang adalah *teropong astronomi*. Ditinjau dari jalannya sinar, teropong bintang dibedakan menjadi dua, yaitu teropong bias dan teropong pantul.



Sumber: Jendela Iptek

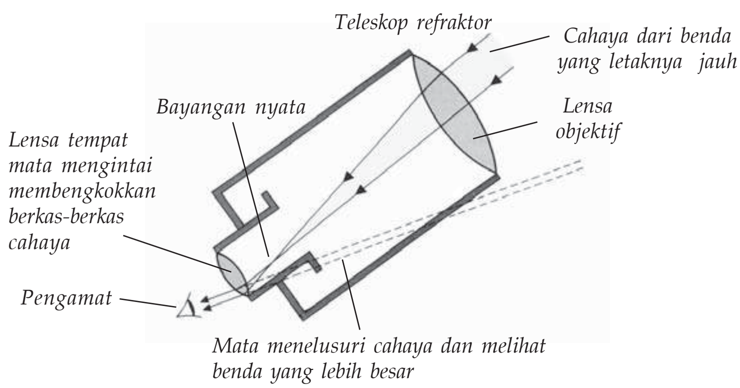
Gambar 5.16 *Teropong bintang.*

a. Teropong Bias

Teropong bias terdiri atas dua lensa cembung, yaitu sebagai lensa objektif dan okuler. Sinar yang masuk ke dalam teropong dibiaskan oleh lensa. Oleh karena itu, teropong ini disebut teropong bias.

Benda yang diamati terletak di titik jauh tak hingga, sehingga bayangan yang dibentuk oleh lensa objektif tepat berada pada titik fokusnya. Bayangan yang dibentuk lensa objektif merupakan benda bagi lensa okuler. Lensa okuler berfungsi sebagai lup.

Lensa objektif mempunyai fokus lebih panjang daripada lensa okuler (lensa okuler lebih kuat daripada lensa objektif). Hal ini dimaksudkan agar diperoleh bayangan yang jelas dan besar. Bayangan yang dibentuk oleh lensa objektif selalu bersifat nyata, terbalik, dan diperkecil. Bayangan yang dibentuk lensa okuler bersifat maya, terbalik, dan diperkecil terhadap benda yang diamati. Seperti pada mikroskop, teropong bintang juga dapat digunakan dengan mata berakomodasi maksimum dan dengan mata tak berakomodasi.

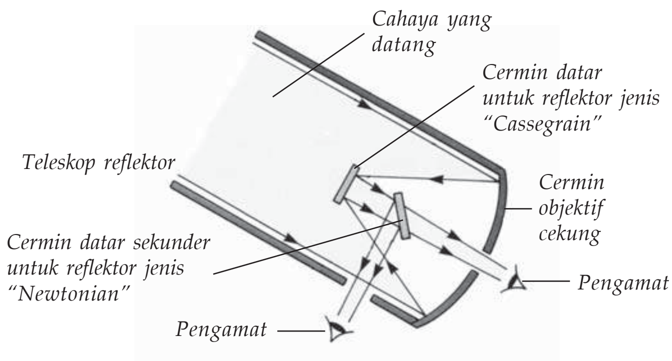


Gambar 5.17 *Pembentukan bayangan pada teropong bias.*

b. Teropong Pantul

Karena jalannya sinar di dalam teropong dengan cara memantul maka teropong ini dinamakan *teropong pantul*. Pembentukan bayangan pada teropong pantul terlihat seperti pada Gambar 5.18.

Pada teropong pantul, cahaya yang datang dikumpulkan oleh sebuah cermin melengkung yang besar. Cahaya tersebut kemudian dipantulkan ke mata pengamat oleh satu atau lebih cermin yang lebih kecil.

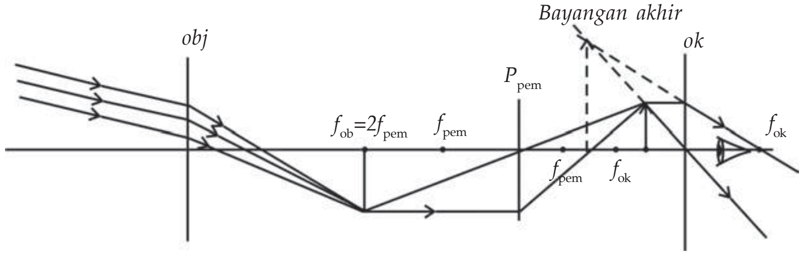


Gambar 5.18 Pembentukan bayangan pada teropong pantul.

2. Teropong Medan (Teropong Bumi)

Teropong medan digunakan untuk mengamati benda-benda yang jauh di permukaan bumi. Teropong bumi terdiri atas tiga lensa cembung, masing-masing sebagai lensa objektif, lensa pembalik, dan lensa okuler. Lensa pembalik hanya untuk membalikkan bayangan yang dibentuk lensa objektif, tidak untuk memperbesar bayangan.

Lensa okuler berfungsi sebagai lup. Karena lensa pembalik hanya untuk membalikkan bayangan, maka bayangan yang dibentuk lensa objektif harus terletak pada titik pusat kelengkungan lensa pembalik. Lensa okuler juga dibuat lebih kuat daripada lensa objektif. Teropong bumi atau medan sebenarnya sama dengan teropong bintang yang dilengkapi dengan lensa pembalik. Pembentukan bayangan pada teropong bumi dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut pada saat mata berakomodasi maksimum.



Gambar 5.19 Pembentukan bayangan dengan mata berakomodasi maksimum.

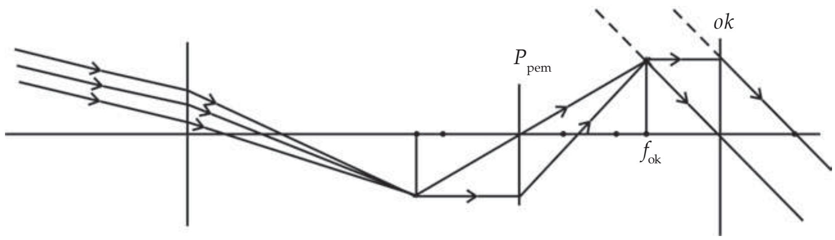
Sifat bayangan yang dibentuk teropong medan adalah maya, tegak, dan diperbesar. Perbesaran bayangan pada mata berakomodasi maksimum dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$M = \frac{f_{obj}}{s_{ok}}$$

Panjang teropong bumi adalah:

$$L = f_{obj} + 4\,f_{pemb} + f_{ok}$$

Untuk mata tak berakomodasi, lensa okuler digeser sedemikian rupa sehingga fokus lensa okuler berimpit dengan titik pusat kelengkungan lensa pembalik ($f_{ok} = 2f_{pemb}$). Pembentukan bayangan dapat dilihat pada Gambar 5.20.



Gambar 5.20 Pembentukan bayangan dengan mata tak berakomodasi.

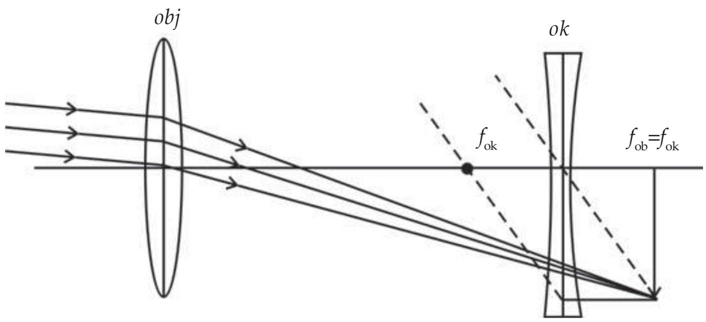
Pembesaran bayangan pada saat mata tak berakomodasi dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$M = \frac{f_{obj}}{s_{ok}}$$

Panjang teropongnya adalah:

$$L = S_{obj} + 4\,f_{pemb} + f_{ok}$$

Ada teropong bumi yang hanya menggunakan dua lensa (teropong panggung), yaitu lensa cembung sebagai lensa objektif dan lensa cekung sebagai lensa okuler. Lensa cekung di sini berfungsi sebagai pembalik bayangan yang dibentuk oleh lensa objektif dan sekaligus sebagai lup. Pembentukan bayangan pada teropong ini dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5.21 Pembentukan bayangan teropong panggung dengan mata tak berakomodasi.

Perbesaran bayangannya dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$M = \frac{f_{obj}}{f_{ok}}$$

Maka panjang teropongnya adalah

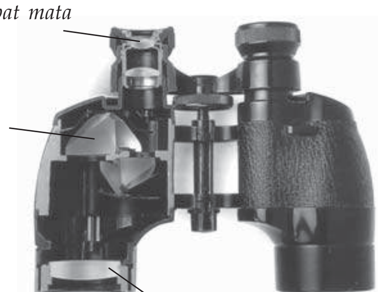
$$L = f_{obj} - f_{ok}$$

Sifat bayangan yang dibentuk maya, tegak, dan diperbesar daripada bayangan yang dibentuk lensa objektif. Teropong ini sering disebut *teropong panggung* atau *teropong Belanda* atau *teropong Galileo*.



Gambar 5.22 Teropong Galileo.

Teropong bumi dan teropong panggung memang tidak bisa dibuat praktis. Untuk itu, dibuat teropong lain yang fungsinya sama tetapi sangat praktis, yaitu teropong prisma. Disebut teropong prisma karena pada teropong ini digunakan dua prisma yang didekatkan bersilangan antara lensa objektif dan lensa okuler sehingga bayangan akhir yang dibentuk bersifat maya, tegak, dan diperbesar.



Sumber: Jendela Iptek

Gambar 5.23 Teropong prisma.

Soal Kompetensi 5.4

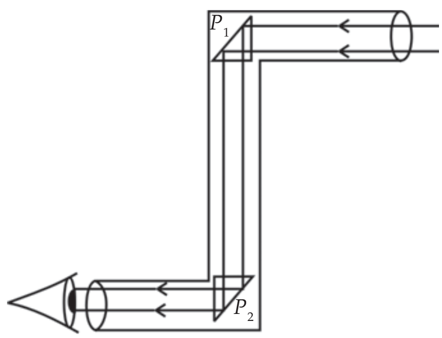
1. Apa yang Anda ketahui mengenai teropong?
2. Sebutkan macam-macam teropong dan kegunaannya!
3. Sebutkan perbedaan teropong pantul dan teropong bias!

F. Periskop

Periskop adalah teropong pada kapal selam yang digunakan untuk mengamati benda-benda di permukaan laut. Periskop terdiri atas 2 lensa cembung dan 2 prisma siku-siku sama kaki.

Jalannya sinar pada periskop adalah sebagai berikut.

1. Sinar sejajar dari benda yang jauh menuju ke lensa obyektif.
2. Prisma P_1 memantulkan sinar dari lensa objektif menuju ke prisma P_2.
3. Oleh prisma P_2 sinar tersebut dipantulkan lagi dan bersilangan di depan lensa okuler tepat di titik fokus lensa okuler.



Gambar 5.24 Jalannya sinar pada periskop.

Kolom Ilmuwan

Kerjakan kegiatan berikut di rumah secara berkelompok!

A. Alat dan Bahan

Sebuah kotak sepatu lengkap dengan tutupnya, dua buah cermin berukuran sekitar 10 cm × 15 cm, dua buah gelas plastik yoghurt yang bagian bawahnya telah dipotong, gunting, dan isolasi.

B. Tujuan

Anda dapat membuat periskop sederhana

C. Langkah Kerja

1. Rekatkan semua tutup kotak!
2. Letakkan kotak itu berdiri dan buat lubang di sisi yang berseberangan dari kotak seperti yang ditunjukkan dalam gambar!



3. Masukkan cermin dalam celah, letak celah yang satu di atas celah yang lain!
4. Buatlah posisi cermin tersebut membentuk sudut 45° (sudut ini dapat Anda peroleh dengan melipat kertas yang membentuk siku-siku menjadi dua)!
5. Buatlah dua lubang melingkar masing-masing di sisi kotak yang berhadapan dengan permukaan cermin!
6. Letakkan gelas yoghurt ke dalam masing-masing lubang!
7. Arahkan bagian atas terbuka ke benda yang ada di dalam ruang lain!
8. Buatlah tulisan sederhana mengenai periskop buatan Anda, sertakan analisis Anda supaya tulisannya menjadi lebih menarik!

G. Proyektor Slide

Proyektor slide adalah alat yang digunakan untuk memproyeksikan gambar diapositif sehingga diperoleh bayangan nyata dan diperbesar pada layar. Bagian-bagian yang penting pada proyektor slide, antara lain lampu kecil yang memancarkan sinar kuat melalui pusat kaca, cermin cekung yang berfungsi sebagai reflektor cahaya, lensa cembung untuk membentuk bayangan pada layar, dan slide atau gambar diapositif.



Sumber: Jendela Iptek

Gambar 5.25 *Proyektor slide tahun 1895.*

Rangkuman

1. Bagian-bagian mata adalah kornea, lensa mata, iris, pupil, *aquaeus humour*, otot mata (otot akomodasi), retina, bintik kuning, bintik buta, saraf mata, dan *vitreous humour*.
2. Daya akomodasi mata adalah kemampuan lensa mata untuk menebal atau memipih sesuai dengan jarak benda yang dilihat.
3. Titik dekat mata (*punctum proximum*) adalah titik terdekat yang masih dapat dilihat dengan jelas oleh mata.
4. Titik jauh mata (*punctum remotum*) adalah titik terjauh yang masih dapat dilihat dengan jelas oleh mata.
5. Mata normal mempunyai titik dekat 25 cm dan titik jauhnya tak terhingga (~).

6. Bayangan benda yang dibentuk oleh lensa berada di retina dengan sifat-sifat nyata, terbalik, dan diperkecil.
7. Jenis-jenis cacat mata, antara lain, miopi (rabun jauh), hipermetropi (rabun dekat), presbiopi (mata tua), dan astigmatisma.
8. Lup (kaca pembesar) adalah sebuah lensa positif yang digunakan untuk melihat benda-benda yang kecil agar tampak lebih besar.
9. Untuk membentuk bayangan yang maya, tegak, dan diperbesar, benda diletakkan di ruang I lup.
10. Perbesaran bayangan pada lup untuk mata berakomodasi maksimum dan mata tak berakomodasi adalah sebagai berikut.

$$M = \frac{25}{f} + 1 \text{ dan } M = \frac{25}{f}$$

11. Kamera adalah alat yang digunakan untuk menghasilkan gambar fotografi.
12. Bagian-bagian kamera, antara lain, lensa cembung, diafragma, apertur, *shutter*, dan film.
13. Gambar negatif adalah gambar yang warnanya tidak sama dengan aslinya dan tembus cahaya.
14. Gambar diapositif adalah gambar yang warnanya sama dengan aslinya dan tembus cahaya.
15. Gambar positif adalah gambar yang warnanya sama dengan aslinya dan tidak tembus cahaya.
16. Mikroskop adalah alat optik yang digunakan untuk mengamati benda-benda kecil.
17. Mikroskop terdiri atas dua lensa cembung yang masing-masing sebagai lensa objektif dan okuler.
18. Sifat-sifat bayangan yang dibentuk mikroskop adalah maya, terbalik, dan diperbesar.
19. Teleskop (teropong) adalah alat optik yang digunakan untuk melihat benda-benda yang jauh agar tampak lebih dekat dan jelas.
20. Perbesaran bayangan pada teropong dengan mata berakomodasi maksimum dan mata tak berakomodasi adalah sebagai berikut.

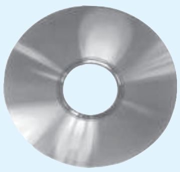
$$M = \frac{f_{obj}}{s_{ok}} \; dan \; M = \frac{f_{obj}}{f_{ok}}$$

21. Periskop adalah teropong pada kapal selam untuk mengamati benda-benda di permukaan laut.
22. Proyektor slide digunakan untuk membentuk bayangan nyata yang diperbesar pada layar di dalam ruangan yang cukup gelap dari gambar-gambar diapositif.

Info Kita

Interferensi

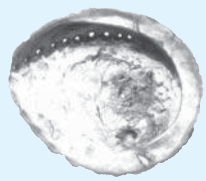
Interferensi dapat Anda lihat tidak saja pada percobaan optikal, tetapi juga pada banyak benda yang lain, baik yang hidup maupun yang tidak hidup. Misalnya, pada permukaan CD, warna biru pada sayap kupu-kupu, dan bagian dalam kulit tiram.



(a) Permukaan CD



(b) Sayap kupu-kupu

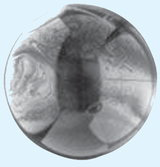


Sumber: Jendela Iptek

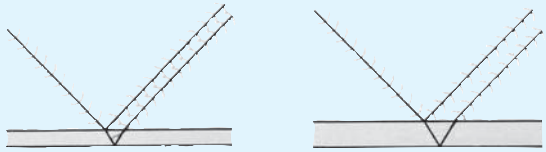
(c) Bagian dalam kulit tiram

Interferensi menyebabkan warna-warni yang paling cemerlang serta pola-pola yang paling rumit di dunia. Warna-warna interferensi terbentuk melalui cara yang berbeda dengan cara terbentuknya warna-warna yang dihasilkan pigmen. Di bawah cahaya matahari, permukaan yang berpigmen, misalnya selembar kertas biru, selalu tampak sama bagaimanapun Anda melihatnya. Namun, jika Anda melihat gelembung sabun atau bulu ekor merak, hasilnya menjadi berbeda. Warna-warna yang Anda lihat tergantung pada sudut pandang Anda melihatnya. Jika kepala Anda gerakkan, warna akan bertambah atau bahkan hilang sama sekali. Hal ini terjadi karena warna yang "beraneka ragam" itu dihasilkan oleh bentuk permukaan yang terpisah, tetapi jaraknya sangat dekat. Tiap-tiap permukaan benda yang mengalami interferensi memantulkan cahaya dengan cara yang sama, sehingga berkas-berkas cahaya yang terpantulkan saling mengganggu.

(Disarikan dari Jendela Iptek, Cahaya, *David Burnie, 2000)*



(a) Gelembung sabun



Sumber: Jendela Iptek

(b) Jalannya interferensi pada gelembung sabun

Pelatihan

A. Pilihlah jawaban yang benar dengan menuliskan huruf a, b, c, d, atau e di buku tugas Anda!

1. Bagian mata yang berfungsi mengatur intensitas cahaya yang masuk ke dalam mata adalah ....
   a. pupil
   b. kornea
   c. iris
   d. retina
   e. lensa mata
2. Mata dapat melihat sebuah benda apabila terbentuk bayangan ....
   a. nyata, terbalik, tepat diretina
   b. nyata, tegak, tepat diretina
   c. maya,tegak, tepat di retina
   d. maya, terbalik, tepat diretina
   e. nyata, tegak, di belakang retina
3. Mata yang tidak dapat melihat benda-benda jauh disebut ....
   a. miopi
   b. presbiopi
   c. hipermetropi
   d. stigmatisma
   e. mata juling
4. Jarak terdekat untuk mata normal orang dewasa adalah ....
   a. 10 – 15 cm
   b. 15 – 25 cm
   c. ± 25 cm
   d. ± 40 cm
   e. ± 35 cm
5. Sebuah lup yang berkekuatan 20 dioptri dipakai oleh pengamat yang bermata normal untuk mengamati sebuag benda. Perbesaran yang terjadi adalah ....
   a. 100 kali
   b. 200 kali
   c. 300 kali
   d. 400 kali
   e. 500 kali
6. Badrun memiliki titik dekat 2,5 m. Kuat kacamata yang sebaiknya dipakai Badrun agar dapat melihat pada jarak normal adalah ....
   a. +0,7 dioptri
   b. +0,8 dioptri
   c. +0,9 dioptri
   d. +1 dioptri
   e. +1,1 dioptri
7. Sebuah mikroskop yang digunakan mengamati benda yang terletak 2,5 cm dari lensa objektif memiliki jarak fokus lensa objektif dan lensa okuler masing-masing 2 cm dan 5 cm. Jika pengamat bermata normal dan berakomodasi maksimum, maka perbesaran yang dihasilkan mikroskop adalah ....

a. 19 kali
b. 25 kali
c. 21 kali
d. 24 kali
e. 27 kali

8. Sebuah teropong yang dipakai untuk melihat bintang menghasilkan perbesaran 6 kali. Jarak lensa objektif dan okuler 35 cm. Jika mata pengamat tidak berakomodasi, maka jarak fokus okulernya adalah ....
   a. 4 cm
   b. 4,5 cm
   c. 5 cm
   d. 5,5 cm
   e. 6 cm
9. Ida memotret seekor burung yang sedang terbang dan memiliki lebar sayap 1,4 m pada jarak 3,5 m dengan menggunakan kamera 35 mm. Jika bayangan pada film sebesar 2 cm, maka fokus lensa yang digunakan adalah ....
   a. 0,20 m
   b. 0,44 m
   c. 0,50 m
   d. 0,30 m
   e. 0,54 m
10. Diketahui sebuah teropong bumi memiliki jarak fokus lensa obyektif, pembalik, dan okuler masing-masing 45 cm, 0,9 cm, dan 0,5 cm. Jika teropong tersebut digunakan mengamati benda yang berjarak 5 km dengan mata tak berakomodasi, maka panjang teropong tersebut adalah ....
    a. 48 cm
    b. 48,1 cm
    c. 49 cm
    d. 49,1 cm
    e. 50 cm

B. *Kerjakan soal-soal berikut dengan benar!*

1. Seorang bapak tidak dapat melihat benda yang jaraknya lebih dari 5 m atau kurang dari 25 cm. Ia hanya dapat melihat dengan jelas jika benda berada pada jarak 40 cm. Bagaimanakah caranya agar ia dapat melihat benda yang jaraknya kurang dari 25 cm atau lebih dari 5 m?
2. Sebuah benda diletakkan 8 mm di depan lensa objektif sebuah miskroskop yang memiliki jarak fokus lensa objektif dan okuler masing-masing 4 mm dan 1,5 mm. Tentukan perbesaran miskroskop tersebut jika mata berakomodasi maksimum dan tak berakomodasi!
3. Sebutkan sifat bayangan yang dibentuk lensa objektif pada sebuah miskroskop!
4. Sebuah lup yang mempunyai jarak fokus 5 cm dipakai melihat sebuah benda kecil yang berjarak 5 cm dari lup. Tentukan perbesarannya!
5. Jelaskan perbedaan periskop dengan teropong bintang!

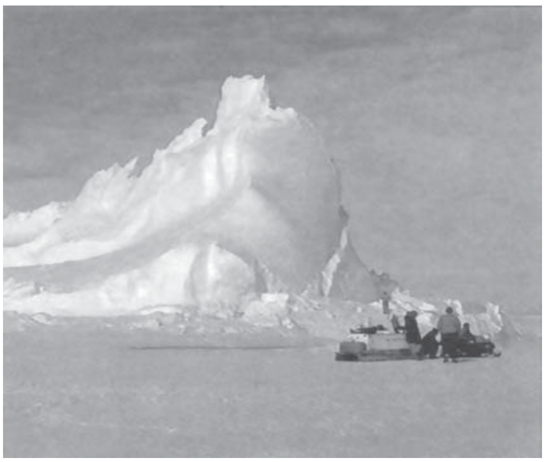


Bab VI

Kalor dan Suhu

Tujuan Pembelajaran

- *Anda dapat menganalisis pengaruh kalor terhadap suatu zat, menganalisis cara perpindahan kalor, dan menerapkan asas Black dalam pemecahan masalah.*



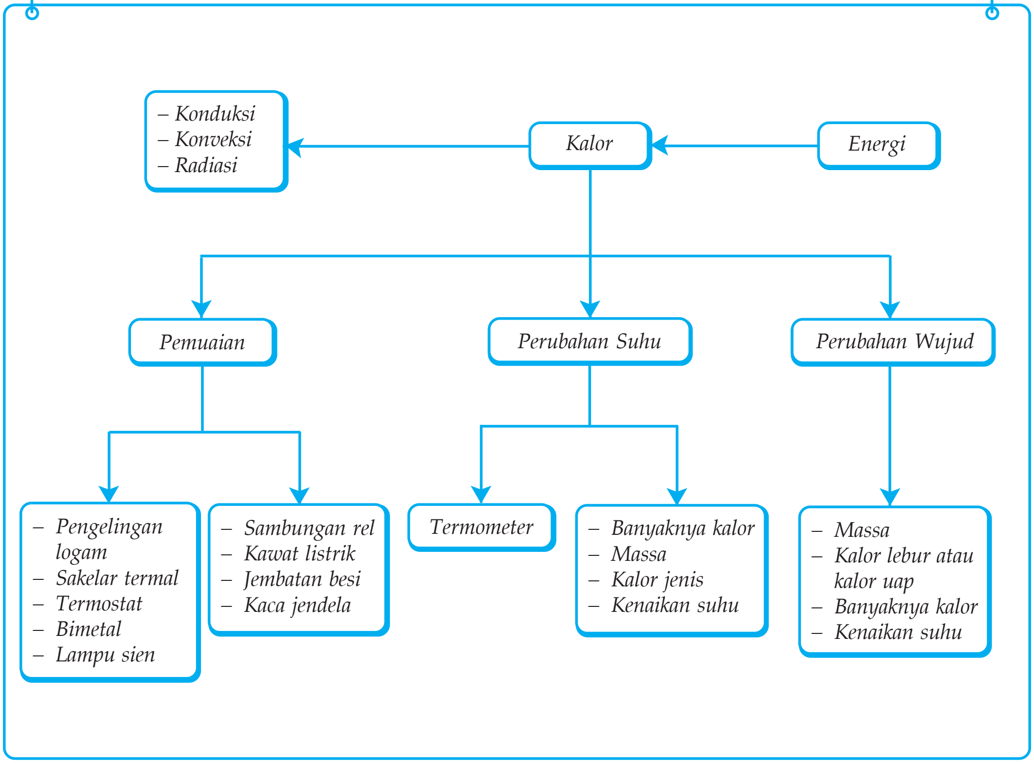
Sumber:Pembakaran dan Peleburan, Mandira Jaya Abadi Semarang

Sebuah gunung es mempunyai kalor yang lebih besar bila dibandingkan dengan secangkir air yang mendidih. Walaupun membeku, gunung es mempunyai bentuk fisik yang besar sehingga kalor yang dimiliki juga besar.

Kata Kunci

• Suhu	• Pemuaian	• Radiasi	• Perpindahan
• Kalor	• Konveksi	• Kalor Jenis	• Energi
• Termometer	• Konduksi	• Kalor Termal	• Konversi

Peta Konsep


– Konduksi
– Konveksi
– Radiasi
Kalor
Energi
Pemuaian
Perubahan Suhu
Perubahan Wujud
– Pengelingan logam
– Sakelar termal
– Termostat
– Bimetal
– Lampu sien
– Sambungan rel
– Kawat listrik
– Jembatan besi
– Kaca jendela
Termometer
– Banyaknya kalor
– Massa
– Kalor jenis
– Kenaikan suhu
– Massa
– Kalor lebur atau kalor uap
– Banyaknya kalor
– Kenaikan suhu

Pada kehidupan sehari-hari, Anda sering mendengar istilah 'panas' dan 'dingin'. Di siang hari udara terasa panas dan pada malam hari udara terasa dingin. Segelas air es yang ada di meja akan terasa dingin dan nasi yang berada dalam penghangat nasi terasa panas. Keadaan derajat panas dan dingin yang di alami suatu benda atau keadaan dinamakan *suhu*. Suhu yang dialami pada suatu benda tergantung energi panas yang masuk pada benda tersebut. Benda dikatakan panas jika bersuhu tinggi sedang benda dikatakan dingin jika bersuhu rendah.

Pada umumnya benda yang bersuhu tinggi (panas), akan mengalirkan suhunya ke benda yang memiliki suhu lebih rendah. Air panas yang dicampur dengan air dingin akan menjadi air hangat. Hal ini berarti ada sesuatu yang berpindah atau masuk pada air dingin, yaitu panas atau kalor. Air hangat merupakan keseimbangan antara suhu panas dan dingin.

Kalor sangat berperan dalam kehidupan sehari-hari. Mengapa kabel listrik terlihat kendor di siang hari, rel kereta api diberi rongga pada sambungannya, demikian juga dalam pemasangan kaca pada jendela. Hal ini tidak terlepas dari pengaruh kalor. Pada bab ini, akan menjelaskan tentang pengaruh kalor terhadap zat, cara perpindahan kalor, dan penerapan asas Black.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

(a) *Kabel Listrik* *(b) Rel kereta api*

Gambar 6.1 *Pengaruh kalor pada kehidupan sehari-hari.*

A. Suhu dan Termometer

Coba Anda sentuh es batu! Terasa dingin, bukan? Coba pegang lampu bolam yang sedang menyala! Terasa panas, bukan? Derajat panas atau dingin yang dialami kedua benda tersebut dinamakan suhu. Suhu dapat dirasakan oleh tangan Anda melalui syaraf yang ada pada kulit dan diteruskan ke otak, sehingga Anda menyatakan panas atau dingin. Namun, kulit kita tidak dapat dijadikan sebagai alat ukur suhu suatu benda.

Kolom Diskusi 6.1

Mengapa indra perasa Anda (kulit) tidak dapat menjadi alat pengukur suhu (panas)? Diskusikan hal tersebut dengan teman sebangku Anda. Buatlah kesimpulan atas diskusi tersebut dan kumpulkan di meja guru!

Alat yang dapat mengukur suhu suatu benda disebut *termometer*. Termometer bekerja dengan memanfaatkan perubahan sifat-sifat fisis benda akibat perubahan suhu. Termometer berupa tabung kaca yang di dalamnya berisi zat cair, yaitu raksa atau alkohol. Pada suhu yang lebih tinggi, raksa dalam tabung memuai sehingga menunjuk angka yang lebih tinggi pada skala. Sebaliknya, pada suhu yang lebih rendah raksa dalam tabung menyusut sehingga menunjuk angka yang lebih rendah pada skala. Terdapat empat skala yang digunakan dalam pengukuran suhu, yaitu skala Celcius, Fahrenheit, Reamur, dan Kelvin.



Gambar 6.2 *Termometer raksa.*

Kegiatan 6.1

Di SMP Anda telah mempelajari tentang konversi suhu dari satu satuan ke satuan yang lain. Rangkumlah kembali materi tersebut di buku tugas, sertakan juga contoh-contohnya, dan mintakan nilai ke guru Anda!

B. Pemuaian

Perhatikan kabel telepon pada musim dingin dan musim panas. Pada musim dingin kabel terlihat kencang dan pada musim panas kabel terlihat kendor. Gelas yang diisi air panas mendadak dapat pecah. Air yang mendidih kadang akan tumpah dari wadahnya jika terus dipanasi. Beberapa peristiwa di atas merupakan contoh dari pemuaian.

Pemuaian merupakan gerakan atom penyusun benda karena mengalami pemanasan. Makin panas suhu suatu benda, makin cepat getaran antaratom yang menyebar ke segala arah. Karena adanya getaran atom inilah yang menjadikan benda tersebut memuai ke segala arah. Pemuaian dapat dialami zat padat, cair, dan gas.

Pemuaian Zat Padat

Pemuaian zat pada dasarnya ke segala arah. Namun, disini Anda hanya akan mempelajari pemuaian panjang, luas, dan volume. Besar pemuaian yang dialami suatu benda tergantung pada tiga hal, yaitu ukuran awal benda, karakteristik bahan, dan besar perubahan suhu benda.

Setiap zat padat mempunyai besaran yang disebut *koefisien muai panjang*. Koefisien muai panjang suatu zat adalah angka yang menunjukkan pertambahan panjang zat apabila suhunya dinaikkan 1° C. Makin besar koefisien muai panjang suatu zat apabila dipanaskan, maka makin besar pertambahan panjangnya. Demikian pula sebaliknya, makin kecil koefisien muai panjang zat apabila dipanaskan, maka makin kecil pula pertambahan panjangnya. Koefisien muai panjang beberapa zat dapat dilihat pada Tabel 6.1. berikut. Sedangkan koefisien muai luas dan volume zat padat, masing-masing adalah B = 2 (x dan y = 3α).

Tabel 6.1 Koefisien Muai Panjang

No	Jenis Bahan	Koefisien Muai Panjang/°C
1.	Aluminium	0,000026
2.	Baja	0,000011
3.	Besi	0,000012
4.	Emas	0,000014
5.	Kaca	0,000009
6.	Kuningan	0,000018
7.	Tembaga	0,000017
8.	Platina	0,000009
9.	Timah	0,00003
10.	Seng	0,000029
11.	Pyrex	0,000003
12.	Perak	0,00002

Sumber: Fisika, Kane & Sternheim, 1991

a. Pemuaian Panjang

Pada zat padat yang berukuran panjang dengan luas penampang kecil, seperti pada kabel dan rel kereta api, Anda bisa mengabaikan pemuaian pada luas penampangnya. Pemuaian yang Anda perhatikan hanya pemuaian pada pertambahan panjangnya. Pertambahan panjang pada zat padat yang dipanaskan relatif kecil sehingga butuh ketelitian untuk mengetahuinya.

Jika sebuah batang mempunyai panjang mula-mula l_1, koefisien muai panjang (α), suhu mula-mula T_1, lalu dipanaskan sehingga panjangnya menjadi l_2 dan suhunya menjadi T_2, maka akan berlaku persamaan, sebagai berikut.

$$l_2 = l_1 + \Delta l$$

Karena $\Delta l = l_1 \alpha \times \Delta T$, maka persamaannya menjadi seperti berikut.

$$l_2 = l_1 (1 + \alpha \times \Delta T)$$

Keterangan:

l_1 : panjang batang mula-mula (m)

l_2 : panjang batang setelah dipanaskan (m)

Δl : selisih panjang batang = $l_1 - l_2$

α : koefisien muai panjang (/°C)

T_1 : suhu batang mula-mula (° C)

T_2 : suhu batang setelah dipanaskan (° C)

ΔT : selisih suhu (° C) = $T_2 - T_1$

Contoh 6.1

Sebuah benda yang terbuat dari baja memiliki panjang 1000 cm. Berapakah pertambahan panjang baja itu, jika terjadi perubahan suhu sebesar 50°C?

Diketahui : a. l_1 = 1000 cm

b. ΔT = 50 °C

c. α = 12×10^{-6} °C^{-1}

Ditanyakan : Δl = ...?

$\Delta l = l_1 \alpha \times \Delta T$

$= 1000 \times 12 \times 10^{-6} \times 50$

= 60 cm

Jadi, pertambahan panjang benda tersebut sebesar 60 cm.

b. Pemuaian Luas

Untuk benda-benda yang berbentuk lempengan plat (dua dimensi), akan terjadi pemuaian dalam arah panjang dan lebar. Hal ini berarti lempengan tersebut mengalami pertambahan luas atau pemuaian luas. Serupa dengan pertambahan panjang pada kawat, pertambahan luas pada benda dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$A_2 = A_1(1+\beta\times\Delta T)$$

Diketahui $\beta = 2\alpha$, maka persamaannya menjadi seperti berikut.

$$A_2 = A_1(1+2\alpha\times\Delta T)$$

Keterangan:

A_1 : luas bidang mula-mula (m^2)
A_2 : luas bidang setelah dipanaskan (m^2)
β : koefisien muai luas (/°C)
ΔT : selisih suhu (° C)

Contoh 6.2

Pada suhu 30° C sebuah pelat besi luasnya 10 m^2. Apabila suhunya dinaikkan menjadi 90° C dan koefisien muai panjang besi sebesar 0,000012/° C, maka tentukan luas pelat besi tersebut!

Diketahui : A_1 = 10 m^2
T_1 = 30° C
T_2 = 90° C
$\Delta T = T_2 - T_1 = 90 - 30 = 60°$ C
α = 0,000012/° C
$\beta = 2\alpha$ = 2 × 0,000012/° C = 0,000024

Ditanyakan : A_2 = ... ?

Jawab :

$$A_2 = A_1(1+\beta\times\Delta T)$$
= 10(1 + 0,000024 × 60)
= 10(1 + 0,00144)
= 10 × 1,00144
= 10,0144 m^2

Jadi, luas pelat besi setelah dipanaskan adalah 10,0144 m^2.

c. Pemuaian Volume

Zat padat yang mempunyai tiga dimensi (panjang, lebar, dan tinggi), seperti bola dan balok, jika dipanaskan akan mengalami muai volume, yakni bertambahnya panjang, lebar, dan tinggi zat padat tersebut. Karena muai volume merupakan penurunan dari muai panjang, maka muai ruang juga tergantung dari jenis zat.

Jika volume benda mula-mula V_1, suhu mula-mula T_1, koefisien muai ruang γ, maka setelah dipanaskan volumenya menjadi V_2, dan suhunya menjadi T_2 sehingga akan berlaku persamaan, sebagai berikut.

$$V_2 = V_1\left(1+\gamma\times\Delta T\right)$$

Karena $\gamma = 3\alpha$, maka persamaannya menjadi seperti berikut.

$$V_2 = V_1\left(1+3\alpha\times\Delta T\right)$$

Keterangan:

V_1 : volume benda mula-mula (m^3)

V_2 : volume benda setelah dipanaskan (m^3)

γ : koefisien muai ruang (/°C)

ΔT : selisih suhu (° C)

Contoh 6.3

Sebuah bejana memiliki volume 1 liter pada suhu 25° C. Jika koefisien muai panjang bejana 2×10^{-5} /°C, maka tentukan volume bejana pada suhu 75° C!

Diketahui :
a. $\gamma = 3\alpha = 6 \times 10^{-5}$ /°C
b. $\Delta T = 75°C - 25°C = 50°$ C
c. $V_1 = 1\ l$

Ditanyakan : $V_2 = ...?$

Jawab :

$V_2 = V_1\left(1+\gamma\times\Delta T\right)$
$= 1\ (1 + 6 \times 10^{-5} \times 50)$
$= 1 + 0{,}003$
$= 1{,}003$ liter

Jadi, volume bejana setelah dipanaskan adalah 1,003 liter.

Soal Kompetensi 6.1

1. Carilah contoh benda-benda di sekitar Anda yang mengalami pemuaian panjang, luas, atau volume, kemudian tulis dalam buku tugas! Apa pengaruhnya terhadap fungsi benda tersebut?
2. Mengapa termos air panas kosong yang terbuka lama bisa pecah?
3. Sebutkan bukti bahwa air dan gas mengalami pemuaian?
4. Pada suhu berapa termometer skala Celcius dan Fahrenheit menunjukkan angka yang sama?

C. Kalor

Sendok yang digunakan untuk menyeduh kopi panas, akan terasa hangat. Leher Anda jika disentuh akan terasa hangat. Apa sebenarnya yang berpindah dari kopi panas ke sendok dan dari leher ke syaraf kulit? Sesuatu yang berpindah tersebut merupakan energi/kalor.

Pada dasarnya kalor adalah perpindahan energi kinetik dari satu benda yang bersuhu lebih tinggi ke benda yang bersuhu lebih rendah. Pada waktu zat mengalami pemanasan, partikel-partikel benda akan bergetar dan menumbuk partikel tetangga yang bersuhu rendah. Hal ini berlangsung terus menerus membentuk energi kinetik rata-rata sama antara benda panas dengan benda yang semula dingin. Pada kondisi seperti ini terjadi keseimbangan termal dan suhu kedua benda akan sama.

1. Hubungan Kalor dengan Suhu Benda

Sewaktu Anda memasak air, Anda membutuhkan kalor untuk menaikkan suhu air hingga mendidihkan air. Nasi yang dingin dapat dihangatkan dengan penghangat nasi. Nasi butuh kalor untuk menaikkan suhunya. Berapa banyak kalor yang diperlukan air dan nasi untuk menaikkan suhu hingga mencapai suhu yang diinginkan? Secara induktif, makin besar kenaikan suhu suatu benda, makin besar pula kalor yang diserapnya. Selain itu, kalor yang diserap benda juga bergantung massa benda dan bahan penyusun benda. Secara matematis dapat di tulis seperti berikut.

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

Keterangan:
Q : kalor yang diserap/dilepas benda (J)
m : massa benda (kg)
c : kalor jenis benda (J/kg°C)
ΔT : perubahan suhu (° C)

Kalor jenis benda (zat) menunjukkan banyaknya kalor yang diperlukan oleh 1 kg zat untuk menaikkan suhunya sebesar satu satuan suhu (° C). Hal ini berarti tiap benda (zat) memerlukan kalor yang berbeda-beda meskipun untuk menaikkan suhu yang sama dan massa yang sama. Kalor jenis beberapa zat dapat Anda lihat pada tabel berikut.

Tabel 6.2 Kalor Jenis Beberapa Zat

No	Nama Zat	Kalor Jenis	
		J/kg°C	Kkal/kg°C
1.	Alkohol	2.400	550
2.	Es	2.100	500
3.	Air	4.200	1.000
4.	Uap air	2.010	480
5.	Alumunium	900	210
6.	Besi/Baja	450	110
7.	Emas	130	30
8.	Gliserin	2.400	580
9.	Kaca	670	160
10.	Kayu	1.700	400
11.	Kuningan	380	90
12.	Marmer	860	210
13.	Minyak tanah	2.200	580
14.	Perak	230	60
15.	Raksa	140	30
16.	Seng	390	90
17.	Tembaga	390	90
18.	Timbal	130	30
19.	Badan manusia	3.470	830

Sumber: Fisika, kane & Sterheim, 1991.

Contoh 6.4

Berapa besar kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu sebatang besi yang massanya 10 kg dari 20° C menjadi 100° C, jika kalor jenis besi 450 J/kg?

Diketahui : a. m = 10 kg

b. ΔT = 100 – 20 = 80° C

c. c = 450 J/kg

Ditanyakan : Q = ...?

Jawab :

$Q = m \times c \times \Delta T$

$= 10 \times 450 \times 80$

$= 360$ kJ

Jadi, kalor yang dibutuhkan sebatang besi tersebut sebesar 360 kJ.

Soal Kompetensi 6.2

1. Jelaskan dengan bahasa Anda sendiri arti kalor dan kalor jenis!
2. Sebanyak 4 kg air dipanaskan sehingga suhunya naik dari 20° C menjadi 60° C. Berapa kalor yang diserap air? (c_{air} = 4.200 J/k°C)

2. Kapasitas Kalor

Air satu panci ketika dimasak hingga mendidih memerlukan kalor tertentu. Kalor yang dibutuhkan 1 panci air agar suhunya naik 1° C disebut kapasitas kalor. Kapasitas kalor sebenarnya banyaknya energi yang diberikan dalam bentuk kalor untuk menaikkan suhu benda sebesar satu derajat. Pada sistem SI, satuan kapasitas kalor adalah JK^{-1}. Namun, karena di Indonesia suhu biasa dinyatakan dalam skala Celsius, maka satuan kapasitas kalor yang dipakai dalam buku ini adalah J/°C. Kapasitas kalor dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Q = C \times \Delta T$$

Keterangan:
Q : kalor yang diserap/dilepas (J)
C : kapasitas kalor benda (J/°C)
ΔT : perubahan suhu benda (° C)

Jika persamaan kapasitas kalor dibandingkan dengan persamaan kalor jenis, maka Anda dapatkan persamaan sebagai berikut.

$$C = m \times c$$

Keterangan:
C : kapasitas kalor benda (J/°C)
m : massa benda (kg)
c : kalor jenis benda (J/kg °C)

Contoh 6.5

Sepotong besi yang memiliki massa 3 kg, dipanaskan dari suhu 20° C hingga 120° C. Jika kalor yang diserap besi sebesar 135 kJ. Tentukan kapasitas kalor besi dan kalor jenis besi?

Diketahui : a. m = 3 kg
b. ΔT = 120° – 20° = 100° C
c. Q = 135 kJ

Ditanyakan : a. C = ...?

b. c = ...?

Jawab :

a. Kapasitas kalor besi

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

$$= \frac{135.000}{100°C}$$

$$= 1350 \text{ J/°C}$$

b. Kalor jenis besi

$$c = \frac{C}{m}$$

$$= \frac{1350}{3\text{kg}}$$

$$= 450 \text{ J/kg °C}$$

Soal Kompetensi 6.3

1. Jelaskan dengan kata-kata Anda sendiri arti kapasitas kalor!
2. Sepotong logam yang massanya 50 g dan suhunya 95° C dicelupkan ke dalam 250 g air yang suhunya 17° C. Suhu air akhirnya berubah menjadi 19,4° C. Tentukan kalor jenis logam tersebut!

D. Perubahan Wujud

Di SMP Anda telah mempelajari tentang wujud zat, yaitu padat, cair, dan gas. Suatu zat dapat berada pada salah satu dari ketiga wujud tersebut, tergantung pada suhunya. Misalnya, air. Air dapat berwujud padat apabila berada pada tekanan normal dan suhunya di bawah 0° C. Air juga dapat berwujud uap bila tekanannya normal dan suhunya di atas 100° C. Contoh lain adalah tembaga. Tembaga dapat berwujud padat bila berada pada tekanan normal dan suhu di bawah 1.083° C. Tembaga akan berwujud cair bila berada pada tekanan normal dan suhunya antara 1.083° C – 2.300° C. Tembaga akan berwujud gas bila berada pada tekanan normal dan suhunya di atas 2.300° C.

1. Kalor Lebur dan Kalor Didih

Kalor yang diserap benda digunakan untuk dua kemungkinan, yaitu untuk menaikkan suhu atau untuk mengubah wujud benda. Misalnya, saat es mencair, ketika itu benda berubah wujud, tetapi suhu benda tidak berubah meski ada penambahan kalor. Kalor yang diberikan ke es tidak digunakan untuk mengubah suhu es, tetapi untuk mengubah wujud benda. Kalor ini disebut kalor laten. *Kalor laten* merupakan kalor yang dibutuhkan 1 kg zat untuk berubah wujud.

Kalor laten ada dua macam, yaitu kalor lebur dan kalor didih. *Kalor lebur* merupakan kalor yang dibutuhkan 1 kg zat untuk melebur. Kalor yang dibutuhkan untuk melebur sejumlah zat yang massanya m dan kalor leburnya K_L dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Q = m \times K_L \text{ atau } K_L = \frac{Q}{m}$$

Keterangan:
Q : kalor yang diperlukan (J)
m : massa zat (kg)
K_L : kalor lebur zat (J/kg)

Berikut tabel yang menunjukkan kalor lebur beberapa zat

Tabel 6.3 Kalor Lebur Beberapa Zat

Nama Zat	Kalor Jenis	
	J/kg	Kkal/kg
Air	335,20	80
Alkohol (etil)	104,30	24,9
Alkohol (metil)	68,72	16,4
Aluminium	402,30	96
Amoniak	452,50	108
Antimon	165	39,60
Belerang	38,10	9,10
Emas	64,50	15,50
Helium	5,23	1,26

Jenis Zat	Kalor Jenis	
	J/kg	Kkal/kg
Hidrogen	58,60	14,06
Nitrogen	25,5	6,12
Oksigen	13,83	3,31
Perak	88,3	21,2
Platina	113,1	27
Raksa	12,57	3
Tembaga	134	50
Timah hitam	24,5	6

Sumber: Fisika, Kane & Sternheim, 1991.

Sama halnya kalor lebur, *kalor didih* merupakan kalor yang dibutuhkan 1 kg zat untuk mendidih/menjadi uap. Kalor ini sama dengan kalor yang diperlukan pada zat untuk mengembun. Jadi, kalor yang dibutuhkan 1 kg air untuk menguap seluruhnya sama dengan kalor yang dibutuhkan untuk mengembun seluruhnya. Kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan sejumlah zat yang massanya m dan kalor didih atau uapnya K_u, dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$Q = m\,K_u$$

Keterangan:

Q : kalor yang diperlukan (J)

m : massa zat (kg)

K_u : kalor didih/uap zat (J/kg)

Berikut tabel yang menunjukkan kalor didih/uap berbagai zat.

Tabel 6.4 Kalor Didih/Uap Beberapa Zat

Nama Zat	Kalor Uap	
	J/kg	Kkal/kg
Air	2.258	539
Amoniak	1.362,5	327
Antimon	561	134,6
Belerang	326	78,24
Emas	1.578	378,7
Etanol	854,8	204
Helium	209	50,16
Hidrogen	452	108,48

Nama Zat	Kalor Uap	
	J/kg	Kkal/kg
Metanol	1.102	263
Nitrogen	201	48,24
Oksigen	213	51,12
Perak	2.336	560,64
Raksa	272	70
Tembaga	5.069	204
Timah hitam	871	175

Sumber: Fisika, Kane & Sternheim, 1991.

Contoh 6.6

Berapa banyak kalor yang diperlukan untuk mengubah 2 gram es pada suhu 0° C menjadi uap air pada suhu 100° C? (c_{air} = 4.200 J/kg °C, K_L = 336 J/g, dan K_U = 2.260 J/g)

Diketahui : a. m = 2 g = 2 × 10^{-3} kg

b. ΔT = 100° – 0° = 100° C

c. K_u = 2.260 J/g

d. K_L = 336 J/g

e. c_{air} = 4.200 J/kg °C

Ditanyakan : Q_{tot} = ...?

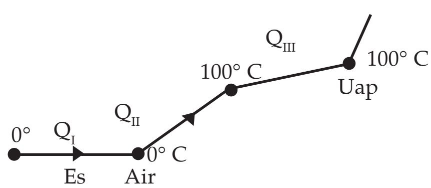
Jawab :

Q_1 Proses Lebur

Q_1 = $m\,K_L$

= 2 × 336

= 672 J



Q_2 Proses menaikkan suhu

$Q_2 = m\,c_{air}\,\Delta T$

$= 2 \times 10^{-3} \times 4.200 \times 100$

$= 840$ J

Q_3 Proses penguapan

$Q_1 = m\,K_u$

$= 2 \times 2.260$

$= 4.420$ J

$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3$

$= 672 + 840 + 4.420$

$= 6.032$ J

Jadi, kalor yang dibutuhkan sebesar 6.032 J

2. Asas Black

Anda ketahui bahwa kalor berpindah dari satu benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah. Perpindahan ini mengakibatkan terbentuknya suhu akhir yang sama antara kedua benda tersebut. Pernahkah Anda membuat susu atau kopi? Sewaktu susu diberi air panas, kalor akan menyebar ke seluruh cairan susu yang dingin, sehingga susu terasa hangat. Suhu akhir setelah percampuran antara susu dengan air panas disebut suhu termal (keseimbangan).

Kalor yang dilepaskan air panas akan sama besarnya dengan kalor yang diterima susu yang dingin. Kalor merupakan energi yang dapat berpindah, prinsip ini merupakan prinsip hukum kekekalan energi. Hukum kekekalan energi di rumuskan pertama kali oleh Joseph Black (1728 – 1899). Oleh karena itu, pernyataan tersebut juga di kenal sebagai asas Black. Joseph Black merumuskan perpindahan kalor antara dua benda yang membentuk suhu termal sebagai berikut.

$$Q_{lepas} = Q_{terima}$$

Keterangan:

Q_{lepas} : besar kalor yang diberikan (J)

Q_{terima} : besar kalor yang diterima (J)

Contoh 6.7

Air sebanyak 0,5 kg yang bersuhu 100° C di tuangkan ke dalam bejana dari aluminium yang memiliki massa 0,5 kg. Jika suhu awal bejana sebesar 25° C, kalor jenis aluminium 900 J/kg °C, dan kalor jenis air 4.200 J/kg °C, maka tentukan suhu kesetimbangan yang tercapai! (anggap tidak ada kalor yang mengalir ke lingkungan)

Diketahui : a. $m_{bjn} = 0{,}5$ kg
b. $m_{air} = 0{,}5$ kg
c. $T_{air} = 100°$ C
d. $T_{bjn} = 25°$ C
e. $c_{air} = 4.200$ J/kg °C
f. $c_{bjn} = 900$ J/kg °C

Ditanyakan : $T_{termal} = ...?$

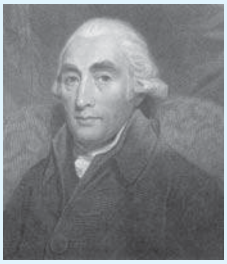
Jawab :

$$Q_{dilepas} = Q_{diterima}$$
$$m \times c_{air} \times \Delta T_{air} = m \times c_{bjn} \times \Delta T_{bjn}$$
$$0{,}5 \times 4.200 \times (100 - T_{termal}) = 0{,}5 \times 900 \times (T_{termal} - 25)$$
$$210.000 - 2.100\, T_{termal} = 450\, T_{termal} - 11.250$$
$$2.550\, T_{termal} = 222.250$$
$$T_{termal} = \frac{222.250}{2550}$$
$$= 87{,}156°\text{ C}$$

Jadi, suhu kesetimbangannya adalah 87,156° C.

T o k o h

Joseph Black
(1728 - 1799)


Sumber: Jendela Iptek, Energi

Joseph Black adalah seorang ilmuwan dari Skotlandia. Dia menyatakan bahwa es dapat mencair tanpa berubah suhunya. Hal ini berarti bahwa es dapat menyerap panas dan menggunakan energi panas tersebut untuk mengubah bentuknya menjadi cair. Ia juga menemukan bahwa kejadian yang sama akan terjadi saat air berubah menjadi uap air.

Energi yang diserap oleh suatu bahan untuk berubah dari padat menjadi cair disebut *kalor laten peleburan*, sedangkan saat benda cair berubah menjadi gas disebut *kalor laten penguapan*. Black juga menyatakan bahwa sejumlah substansi yang berbeda akan membutuhkan sejumlah energi panas yang berbeda pula untuk menentukan suhunya dengan kenaikan yang sama.

(*Dikutip seperlunya dari* 100 Ilmuwan, *John Hudson Tiner, 2005*)

E. Perpindahan Kalor

Anda telah mempelajari bahwa kalor merupakan energi yang dapat berpindah dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah. Pada waktu memasak air, kalor berpindah dari api ke panci lalu ke air. Pada waktu menyetrika, kalor berpindah dari setrika ke pakaian. Demikian juga pada waktu berjemur, badan Anda terasa hangat karena kalor berpindah dari matahari ke badan Anda. Ada tiga cara kalor berpindah dari satu benda ke benda yang lain, yaitu konduksi, kenveksi, dan radiasi.



Sumber: Foto Haryana

(a) *Menyetrika*



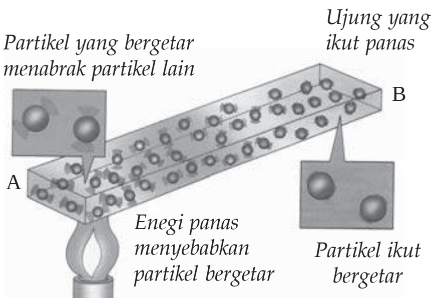
Sumber: CD Clipart

(b) *Berjemur di pantai*

Gambar 6.3 *Perpindahan kalor dalam kehidupan sehari-hari*

1. Konduksi

Kalor dapat Anda rasakan dalam kehidupan sehari-hari. Coba pegang leher Anda! Terasa hangat, bukan? Hal ini menunjukkan ada kalor yang mengalir ke tangan Anda. Demikian jika sepotong sendok makan yang Anda bakar pada api lilin, lama kelamaan tangan Anda merasakan hangat dan akhirnya panas. Peristiwa perpindahan kalor melalui suatu zat tanpa disertai dengan perpindahan partikel-partikelnya disebut *konduksi*.



Gambar 6.4 *Ujung besi yang dipanaskan menyebabkan ujung yang lain ikut panas*

Perpindahan kalor dengan cara konduksi disebabkan karena partikel-partikel penyusun ujung zat yang bersentuhan dengan sumber kalor bergetar. Makin besar getarannya, maka energi kinetiknya juga makin besar. Energi kinetik yang besar menyebabkan partikel tersebut menyentuh partikel di dekatnya, demikian seterusnya sampai akhirnya Anda merasakan panas. Besarnya aliran kalor secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$Q = \frac{k \times t \times A(T_1 - T_2)}{d} \text{ atau } \frac{Q}{t} = \frac{k \times A(T_1 - T_2)}{d}$$

Jika $\frac{Q}{t}$ merupakan kelajuan hantaran kalor (banyaknya kalor yang mengalir per satuan waktu) dan $\Delta T = T_2 - T_1$, maka persamaan di atas menjadi seperti berikut.

$$H = k \times A \times \frac{\Delta T}{d}$$

Keterangan:

Q : banyak kalor yang mengalir (J)
A : luas permukaan (m^2)
Δt : perbedaan suhu dua permukaan (K)
d : tebal lapisan (m)
k : konduktivitas termal daya hantar panas (J/ms K)
t : lamanya kalor mengalir (s)
H : kelajuan hantaran kalor (J/s)

Contoh 6.8

Diketahui suhu permukaan bagian dalam dan luar sebuah kaca jendela yang memiliki Panjang 2 m dan lebar 1,5 m berturut turut 27° C dan 26° C. Jika tebal kaca tersebut 3,2 mm dan konduktivitas termal kaca sebesar 0,8 W/m °C, maka tentukan laju aliran kalor yang lewat jendela tersebut!

Diketahui :
a. $d = 3{,}2 \text{ mm} = 3{,}2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
b. $A = 2 \times 1{,}5 = 3 \text{ m}^2$
c. $\Delta t = 27 - 26 = 1° \text{ C}$
d. $k = 0{,}8 \text{ W/m °C}$

Ditanyakan : $H = ...?$

Jawab :

$$H = k \times A \times \frac{\Delta T}{d}$$

$$= 0{,}8 \times 3 \times \frac{1}{3{,}2 \times 10^{-3}}$$

$$= 750 \text{ J/s}$$

Setiap zat memiliki konduktivitas termal yang berbeda-beda. Konduktivitas termal beberapa zat ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 6.5 Tabel Konduktivitas Termal Beberapa Zat

Nama Zat	Konduktivitas Termal (W/m°C)
Udara	0,024
Hidrogen	0,14
Oksigen	0,023
Bata Merah	0,6
Beton	0,8
Kaca	0,8
Es	1,6
Batu	0,04
Kayu	0,12–0,14
Tembaga	385
Baja	50,2
Aluminium	205

Sumber: Fisika, Kane & Sternheim, 1991.

Ditinjau dari konduktivitas termal (daya hantar kalor), benda dibedakan menjadi dua macam, yaitu *konduktor kalor* dan *isolator kalor*. Konduktor kalor adalah benda yang mudah menghantarkan kalor. Hampir semua logam termasuk konduktor kalor, seperti aluminium, timbal, besi, baja, dan tembaga. Isolator kalor adalah zat yang sulit menghantarkan kalor. Bahan-bahan bukan logam biasanya termasuk isolator kalor, seperti kayu, karet, plastik, kaca, mika, dan kertas.

Berikut contoh alat-alat yang menggunakan bahan isolator dan konduktor kalor.

a. Alat-alat yang menggunakan bahan isolator kalor, antara lain:
   1) pegangan panci presto,
   2) pegangan setrika, dan
   3) pegangan solder.
b. Alat-alat yang menggunakan bahan konduktor kalor, antara lain:
   1) kawat kasa,
   2) alat-alat untuk memasak,
   3) setrika listrik, dan
   4) kompor listrik.

2. Konveksi

Konveksi adalah perpindahan kalor yang disertai dengan perpindahan partikel-partikel zat. Perpindahan kalor secara konveksi dapat terjadi pada zat cair dan gas.

a. Konveksi pada Zat Cair

Untuk memahami perpindahan kalor secara konveksi pada zat cair, lakukanlah Kegiatan 6.2 berikut!

Kegiatan 6.2

Konveksi pada Zat Cair

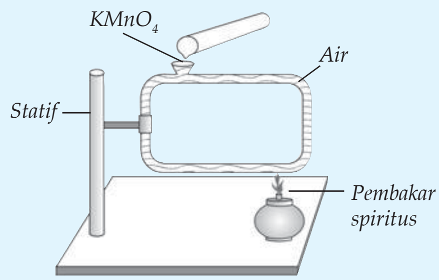
A. Tujuan

Anda dapat mengetahui dan memahami peristiwa konveksi pada zat cair.

B. Alat dan Bahan

Alat konveksi zat cair, pembakar spiritus, statif, zat warna hitam permanganat ($KMnO_4$), dan air.

C. Langkah Kerja



1. Letakkan alat konveksi zat cair pada statif seperti gambar di samping!
2. Isilah alat konveksi zat cair dengan air hingga penuh!
3. Panaskan alat konveksi zat cair di tepi kanan bawah dengan pembakar spiritus!
4. Masukkan zat warna ($KMnO_4$) melalui lubang atas!
5. Perhatikan aliran zat warna dalam air!

Ternyata zat warna bergerak mengalir berlawanan arah jarum jam. Mula-mula air yang dipanaskan naik, kemudian membelok ke kiri mengikuti bentuk alat konveksi, lalu turun, dan membelok lagi ke tempat yang dipanaskan, begitu seterusnya. Hal ini dapat terjadi karena massa jenis partikel-partikel air yang dipanaskan akan mengecil sehingga bagian air ini akan terangkat ke atas, sedangkan bagian air yang semula berada di atas akan turun karena massa jenis partikel-partikelnya lebih besar. Itulah yang menyebabkan aliran partikel-partikel air pada alat konveksi terjadi.

Jadi, perpindahan kalor secara konveksi terjadi karena adanya perbedaan massa jenis zat. Konveksi air banyak dimanfaatkan dalam pembuatan sistem aliran air panas di hotel, apartemen, atau perusahaan-perusahaan besar.

b. Konveksi pada Gas

Konveksi pada gas dapat dibuktikan dengan Kegiatan 6.3 berikut.

Kegiatan 6.3

Konveksi pada Gas

A. Tujuan

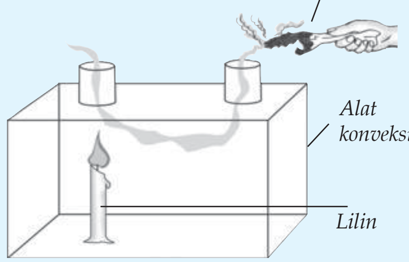
Kamu dapat mengetahui peristiwa konveksi pada gas.

B. Alat dan Bahan

Alat konveksi gas, lilin, kertas, dan korek api.

C. Langkah Kerja

1. Ambillah alat konveksi gas seperti gambar di samping!
2. Nyalakan lilin di bawah salah satu cerobong alat tersebut!
3. Letakkan kertas berasap di atas cerobong yang lain!
4. Amati jalannya asap!



Ternyata asap di atas cerobong yang tidak dipanaskan akan bergerak turun ke dalam kotak lalu mengalir ke atas lilin dan keluar lagi melalui cerobong yang dipanaskan. Hal ini terjadi karena udara di dalam kotak yang terkena panas lilin, massa jenisnya mengecil dan terangkat ke atas melalui cerobong yang dipanaskan, sedangkan massa jenis asap lebih besar sehingga akan bergerak turun masuk ke dalam kotak.

Contoh konveksi udara dalam kehidupan sehari-hari, antara lain, sebagai berikut.

1) Sistem ventilasi rumah. Udara panas di dalam rumah akan bergerak naik dan keluar melalui ventilasi. Tempat yang ditinggalkan akan diisi oleh udara dingin melalui ventilasi yang lain sehingga udara di dalam rumah lebih segar.
2) Cerobong asap pabrik. Pada pabrik-pabrik, udara di sekitar tungku pemanas suhunya lebih tinggi daripada udara luar, sehingga asap pabrik yang massa jenisnya lebih kecil dari udara luar akan bergerak naik melalui cerobong asap.
3) Angin laut dan angin darat. Pada siang hari daratan lebih cepat panas daripada lautan. Udara di daratan memuai sehingga massa jenisnya mengecil dan bergerak naik ke atas. Tempat yang ditinggalkan akan

diisi oleh udara dingin dari laut, maka terjadilah angin laut. Sebaliknya, pada malam hari daratan lebih cepat dingin daripada lautan. Udara di atas laut memuai, massa jenisnya mengecil dan bergerak ke atas. Tempat yang ditinggalkannya akan diisi oleh udara dingin dari darat, maka terjadilah angin darat.



(a) Angin darat *(b) Angin laut*

Gambar 6.5 *Proses terjadinya angin darat dan laut*

Adapun secara empiris laju perpindahan kalor secara konveksi dapat dirumuskan sebagi berikut.

$$H = h \cdot A \cdot \Delta T^4$$

Keterangan

H : laju perpindahan kalor (W)

A : luas permukaan benda (m²)

ΔT : $t_2 - t_1$ = perbedaan suhu (K atau ° C)

h : koefisien konveksi (Wm^{-2}K^{-4} atau Wm^{-2}(°C)^4)

Contoh 6.9

Udara dalam sebuah kamar menunjukkan skala 25° C, sedangkan suhu permukaan jendela kaca kamar tersebut 15° C. Jika koefisien konveksi $7{,}5 \times 10^{-5}$ Wm^{-2} (°C)$^{-4}$, maka tentukan laju kalor yang diterima oleh jendela kaca seluas 0,6 m² !

Diketahui: a. ΔT = 25 – 15 = 10° C

b. A = 0,6 m²

c. h = $7{,}5 \times 10^{-5}$ Wm^{-2}(°C)$^{-4}$

Ditanyakan : H = ...?

Jawab :

$H = h \times A \times \Delta T^4$

$= 7{,}5 \times 10^{-5} \times 0{,}6 \times 10^4$

$H = 0{,}45$ W

3. Radiasi

Pernahkah Anda berpikir, bagaimana panas matahari sampai ke bumi? Anda ketahui bahwa di antara matahari dan bumi terdapat lapisan atmosfer yang sulit menghantarkan panas secara konduksi maupun konveksi. Selain itu, di antara matahari dan bumi juga terdapat ruang hampa yang tidak memungkinkan terjadinya perpindahan kalor. Dengan demikian, perpindahan kalor dari matahari sampai ke bumi tidak memerlukan perantara. Perpindahan kalor yang tidak memerlukan zat perantara (medium) disebut *radiasi*.

Setiap benda mengeluarkan energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik. Laju radiasi dari permukaan suatu benda berbanding lurus dengan luas penampang, berbanding lurus dengan pangkat empat suhu mutlaknya, dan tergantung sifat permukaan benda tersebut. Secara matematis dapat di tulis sebagai berikut.

$$H = Ae\sigma T^4$$

Keterangan:

H : laju radiasi (W)

A : luas penampang benda (m^2)

T : suhu mutlak (K)

e : emisitas bahan

σ : tetapan Stefan-Boltzmann ($5,6705119 \times 10^{-8}$ W/mK^4)

Contoh 6.10

Sebuah plat tipis memiliki total luas permukaan 0,02 m^2. Plat tersebut di panaskan dengan sebuah tungku hingga suhunya mencapai 1.000 K. Jika emisitas plat 0,6, maka tentukan laju radiasi yang dipancarkan plat tersebut!

Diketahui : a. $A = 0,02\ m^2$
b. $T = 1.000$ K
c. $e = 0,6$
d. $\sigma = 5,6705119 \times 10^{-8}$ W/mK^4

Ditanyakan : $H = ...?$

Jawab :

$H = Ae\sigma T^4$

$= 0,02 \times 0,6 \times (5,6705119 \times 10^{-8}) \times (1.000)^4$

$= 6.804$ W

Jadi, laju radiasi yang dipancarkan plat sebesar 6.804 W.

Kolom Diskusi 6.2

Diskusikan dengan teman sebangku Anda hal-hal berikut, kemudian buatlah kesimpulan yang dikumpulkan di meja guru!

1. Mengapa pada suhu yang sama balok kayu terasa lebih dingin atau lebih panas dari sebatang logam?
2. Mengapa pakaian yang berwarna cerah lebih nyaman dikenakan saat cuaca panas daripada pakaian yang berwarna gelap?
3. Bagaimana cara kerja *microwave*?

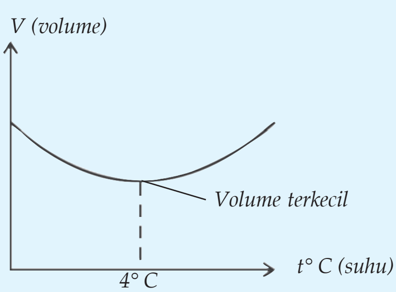
Info Kita

Anomali Air

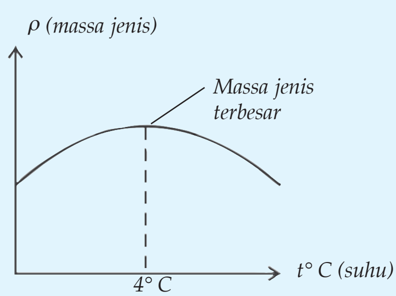


Sumber:Pembakaran dan Peleburan, Mandira Jaya Abadi Semarang

Pada umumnya, air akan memuai apabila dipanaskan, dalam hal ini volumenya akan bertambah. Namun, pada suhu antara 0° C sampai 4° C sifat air akan mengalami penyimpangan (anomali). Jika air dipanaskan pada suhu antara 0° C hingga 4° C, air tidak akan memuai, namun sebaliknya volume air akan menyusut. Tepat pada suhu 4° C, volume air berada pada titik terkecil, yang menyebabkan massa jenis air berada pada titik terbesar. Jika air dipanaskan terus mulai dari suhu 4° C, maka volumenya akan bertambah.



(a) Volume air terkecil



(b) Massa jenis air terbesar

Di daerah yang sedang mengalami musim dingin, air yang paling dingin, baik di sungai, danau, maupun laut, berada pada lapisan air yang paling atas, sehingga permukaan air akan mengalami pembekuan terlebih dahulu. Hal ini penting bagi ikan dan makhluk air lainnya. Lapisan es tersebut akan melindungi lapisan air di bawahnya, sehingga bagian dasar air akan tetap hangat. Dasar air ini akan menjadi tempat tinggal yang nyaman bagi ikan dan makhluk hidup air lainnya selama musim dingin.

Kolom Ilmuwan

Anda pasti pernah mendengar tentang efek rumah kaca. Efek rumah kaca merupakan fenomena fisika yang berhubungan dengan radiasi matahari. Buatlah sebuah artikel tentang fenomena ini. Anda bisa menyebutkan keuntungan dan kerugiannya. Untuk sumber, Anda dapat mencari di majalah, buku-buku, surat kabar, atau di internet. Mintakan nilai kepada guru Anda. Jika dinilai layak kirimkan ke majalah atau surat kabar!

Rangkuman

1. Suhu merupakan derajat panas atau dinginnya suatu benda.
2. Untuk mengukur suhu suatu benda digunakan termometer.
3. Berdasarkan penetapan skala termometer dibedakan menjadi empat jenis, yaitu termometer Celsius, Reamur, Fahrenheit, dan Kelvin.
4. Pada umumnya zat padat, cair, dan gas memuai bila dipanasakan.
5. Contoh penerapan pemuaian dalam kehidupan sehari-hari, antara lain, bimetal, pengelingan, pemasangan ban baja pada roda kereta api, dan pemasangan kaca pada jendela.
6. Kalor adalah salah satu bentuk energi panas yang dapat berpindah dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah.
7. Perpindahan kalor ada tiga cara, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.
8. Kalor jenis adalah banyaknya kalor yang diperlukan 1 kg zat untuk menaikkan suhu 1° C.
9. Selain menaikkan suhu, kalor juga dapat untuk mengubah wujud zat.
10. Warna hitam adalah penyerap dan pemancar kalor radiasi yang baik.

Pelatihan

A. Pilihlah jawaban yang benar dengan menuliskan huruf a, b, c, d, atau e di buku tugas Anda!

1. Karena suhunya dinaikkan 100° C batang baja yang memiliki panjang 1 m bertambah panjang 1 mm. Pertambahan panjang batang baja yang memiliki panjang 60 cm jika suhunya dinaikkan 20° C adalah ....
   a. 0,12 mm
   b. 0,24 mm
   c. 0,60 mm
   d. 0,72 mm
   e. 0,84 mm
2. Alat yang digunakan untuk mengukur suhu adalah ....
   a. indra tangan
   b. lidah
   c. termometer
   d. barometer
   e. hidrometer
3. Suhu 30° C sama dengan ....
   a. 25° R
   b. 24° R
   c. 30° R
   d. 35° R
   e. 40° R
4. Dua batang K dan L jenisnya sama. Pada suhu 20° C panjangnya berturut-turut 4 m dan 6 m. Saat dipanasi sampai suhu 50° C, ternyata batang K panjangnya menjadi 4,15 m. Jika besi L dipanasi sampai suhu 60° C , maka panjangnya menjadi ....
   a. 6,10
   b. 6,20
   c. 6,25
   d. 6,30
   e. 6,45
5. Seorang anak memiliki luas permukaan badan 14.000 cm^2 dan emisivitasnya 0,85. Temperatur kulit anak tersebut 37° C. Jika berdiri dalam ruang yang bersuhu 20° C, maka banyaknya kalor yang hilang dari orang tersebut per menit adalah ....
   a. 1,00 kkal
   b. 1,80 kkal
   c. 2,30 kkal
   d. 2,80 kkal
   e. 4,30 kkal

6. Jika 75 g air yang bersuhu 0° C dicampur dengan 50 g air yang bersuhu 100° C, maka suhu akhir campuran kedua air tersebut adalah ....
   a. 25° C
   b. 40° C
   c. 60° C
   d. 65° C
   e. 75° C
7. Dua benda hitam yang sejenis masing-masing bersuhu 327° C dan 27° C. Jika kedua benda tersebut memancarkan energi dalam bentuk radiasi maka perbandingan jumlah energi per detik yang dipancarkan adalah ....
   a. 1 : 4
   b. 4 : 1
   c. 1 : 16
   d. 16 : 1
   e. 8 : 3
8. Perpindahan energi oleh pancaran sinar matahari dinamakan ....
   a. konduksi
   b. radiasi
   c. isolasi
   d. konveksi
   e. tidak langsung
9. Suatu benda hitam bersuhu 27° C memancarkan energi R. Jika benda hitam tersebut dipanaskan menjadi sampai 327° C, maka energi yang dipancarkan menjadi ....
   a. 2 R
   b. 4 R
   c. 6 R
   d. 12 R
   e. 16 R
10. Jika suatu zat mempunyai kalor jenis tinggi, maka zat tersebut ....
   a. lambat naik suhunya jika dipanaskan
   b. cepat naik suhunya jika dipanaskan
   c. lambat mendidih
   d. cepat mendidih
   e. cepat lebur

B. *Kerjakan soal-soal berikut dengan benar!*

1. Pelat aluminium yang memiliki tebal 4 cm dan luas permukaan 10.000 cm^2, salah satu permukaan bersuhu 120° C dan permukaan lainnya bersuhu 1110° C. Konduktivitasnya 2,1 × 10^{-2} kJ/msK. Berapa kalor yang melalui plat besi tiap sekon?

2. Sebuah bahan penyekat panas memiliki luas permukaan 100 cm^2 dan tebal 2 cm. Perbedaan antara kedua permukaan 100° C. Apabila dalam satu hari dirambatkan kalor 86.400 kalori, berapa konduktivitas termal bahan tersebut?
3. Sebuah panci dengan alas baja setebal 8,5 mm diletakkan di atas sebuah tungku panas. Luas alas panci 0,15 m^2. Air di dalam panci berada pada suhu 100° C, dan 0,39 kg menjadi uap setiap 3 menit. Tentukan suhu permukaan bawah panci yang bersentuhan dengan tungku!
4. Sebuah benda hitam berbentuk bola dengan jari-jari 5 cm dijaga pada suhu konstan 327° C. Berapa laju kalor yang dipancarkan?
5. Haryos membangun dinding luar rumahnya dengan lapisan kayu setebal 3 cm di sisi luar dan lapisan *styrofoam* setebal 2,2 cm di sisi dalamnya. Jika suhu permukaan dalam 39° C dan suhu permukaan luar 19° C, maka tentukan laju aliran kalor per meter kuadrat yang melewati dinding!

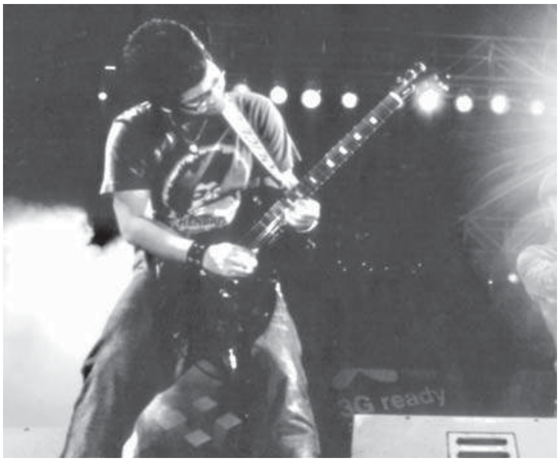
   (k_{kayu} = 0,08 W/mK dan $k_{styrofoam}$ = 0,01 W/mK)

Bab VII

Listrik Dinamis

Tujuan Pembelajaran

- *Anda dapat memformulasikan besaran-besaran listrik rangkaian tertutup sederhana, mengidentifikasikan penerapan listrik AC dan DC dalam kehidupan sehari-hari, dan dapat menggunakan alat ukur listrik.*



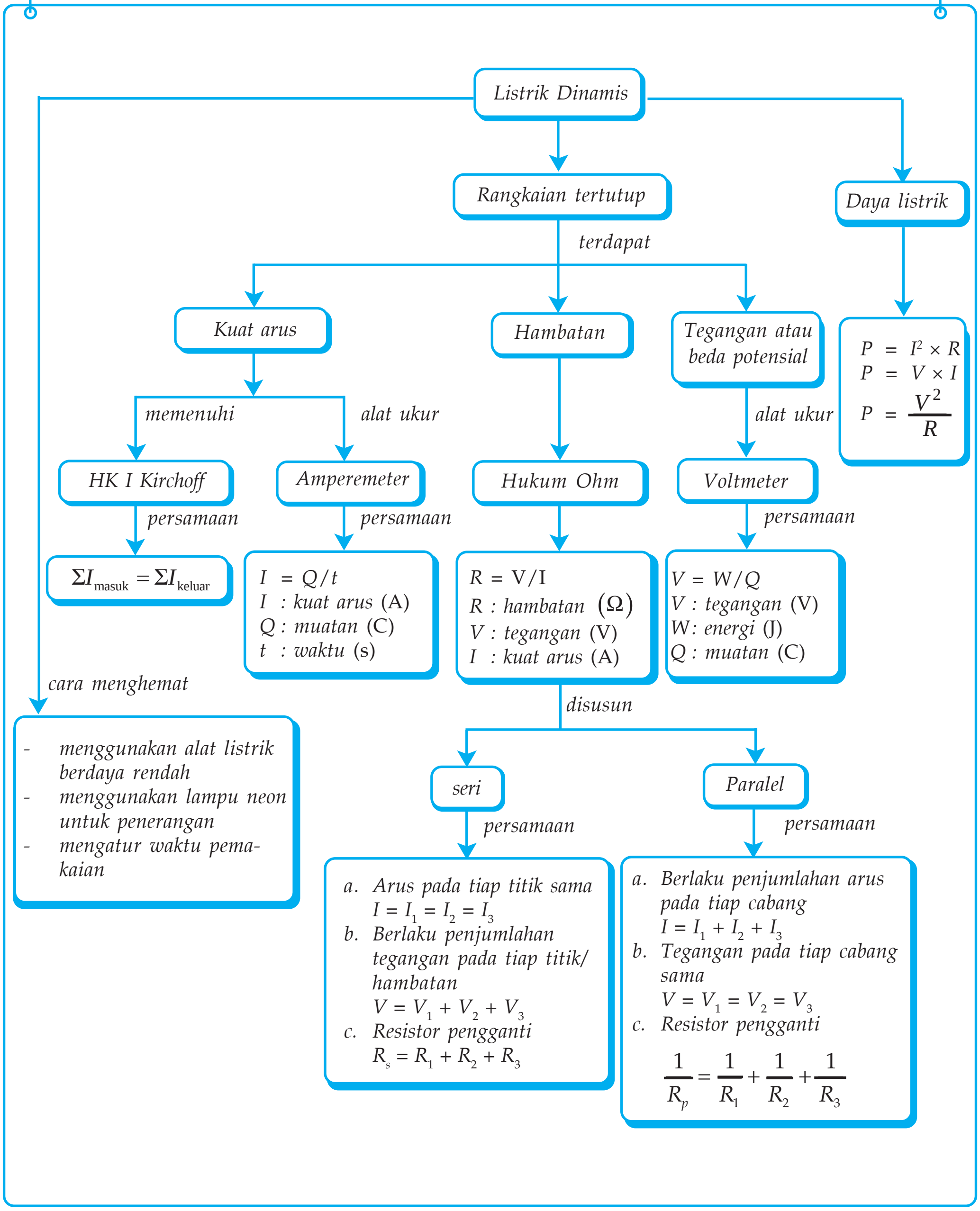
Sumber: Hai, 8-14 Januari 2007

Tombol volume pada gitar listrik berfungsi sama seperti sakelar lampu. Ketika Anda menggerakkan dua kawat menjadi lebih dekat atau lebih jauh dengan potongan grafit, maka akan menyebabkan tegangan yang beragam pada pengeras suara. Hal ini menyebabkan suara yang dihasilkan menjadi lebih keras atau lebih pelan.

Kata Kunci

• Arus Listrik	• Tegangan	• Beda Potensial	• Hambatan
• Tegangan Listrik	• Ohmmeter	• Amperemeter	• Daya Listrik
• Kuat Arus	• Voltmeter	• Hukum Kirchhoff	• Rangkaian Listrik

Peta Konsep



Listrik Dinamis
Rangkaian tertutup
Daya listrik
terdapat
Kuat arus
Hambatan
Tegangan atau beda potensial
P = I² × R
P = V × I
P = V²/R
memenuhi
alat ukur
alat ukur
HK I Kirchoff
Amperemeter
Hukum Ohm
Voltmeter
persamaan
persamaan
persamaan
ΣI masuk = ΣI keluar
I = Q/t
I : kuat arus (A)
Q : muatan (C)
t : waktu (s)
R = V/I
R : hambatan (Ω)
V : tegangan (V)
I : kuat arus (A)
V = W/Q
V : tegangan (V)
W: energi (J)
Q : muatan (C)
cara menghemat
disusun
- menggunakan alat listrik berdaya rendah
- menggunakan lampu neon untuk penerangan
- mengatur waktu pemakaian
seri
Paralel
persamaan
persamaan
a. Arus pada tiap titik sama
I = I1 = I2 = I3
b. Berlaku penjumlahan tegangan pada tiap titik/hambatan
V = V1 + V2 + V3
c. Resistor pengganti
Rs = R1 + R2 + R3
a. Berlaku penjumlahan arus pada tiap cabang
I = I1 + I2 + I3
b. Tegangan pada tiap cabang sama
V = V1 = V2 = V3
c. Resistor pengganti
1/Rp = 1/R1 + 1/R2 + 1/R3

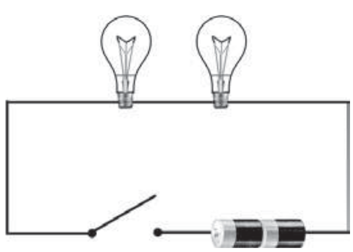
Pada kehidupan sehari-hari, Anda sering menjumpai adanya rangkaian listrik, mulai dari rangkaian listrik yang sederhana sampai rangkaian yang sangat rumit. Pernahkah Anda mengamati rangkaian listrik pada lampu senter, radio, atau televisi? Pernahkah Anda berpikir mengapa lampu senter, radio, dan televisi dapat berfungsi?

Listrik terbentuk karena energi mekanik dari generator yang menyebabkan perubahan medan magnet di sekitar kumparan. Perubahan ini menyebabkan timbulnya aliran muatan listrik pada kawat/penghantar. Aliran muatan listrik pada kawat Anda kenal sebagai arus listrik. Aliran muatan dapat berupa muatan positif (proton) dan muatan negatif (elektron). Aliran listrik yang mengalir pada penghantar dapat berupa arus searah atau *direct current* (DC) dan dapat berupa arus bolak-balik atau *alternating current* (AC).

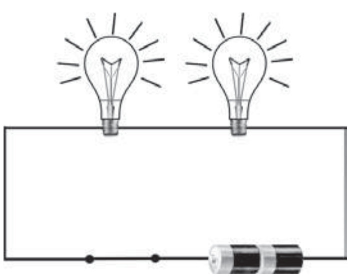
Pada bab ini, Anda akan mempelajari besaran-besaran listrik, rangkaian listrik, dan penerapan alat listrik dalam kehidupan sehari-hari. Anda juga dituntut untur dapat mengunakan alat ukur listrik.

A. Arus Listrik

Pada dasarnya rangkaian listrik dibedakan menjadi dua, yaitu rangkaian listrik terbuka dan rangkaian listrik tertutup. Rangkaian listrik terbuka adalah suatu rangkaian yang belum dihubungkan dengan sumber tegangan, sedangkan rangkaian listrik tertutup adalah suatu rangkaian yang sudah dihubungkan dengan sumber tegangan.



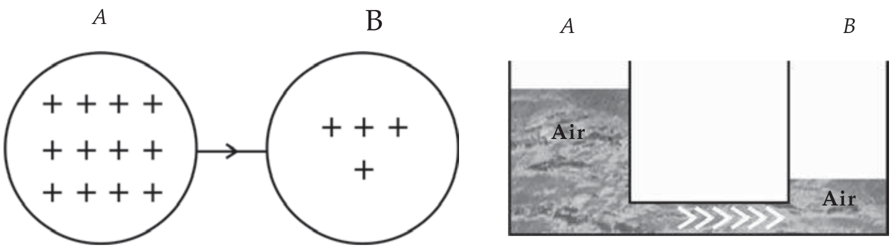
(a) Rangkaian terbuka



(b) Rangkaian tertutup

Gambar 7.1 *Rangkaian listrik*

Pada rangkaian listrik tertutup, terjadi aliran muatan-muatan listrik. Aliran muatan listrik positif identik dengan aliran air. Perhatikan Gambar 7.2!



(a) *Aliran listrik* (b) *Aliran air*

Gambar 7.2 *Aliran muatan listrik positif dari A ke B identik dengan aliran air dari A ke B yang disebut arus listrik.*

Air dalam bejana A mempunyai energi potensial lebih tinggi daripada air dalam bejana B, sehingga terjadi aliran air dari bejana A menuju bejana B atau dikatakan bahwa potensial di A lebih tinggi daripada potensial di B sehingga terjadi aliran muatan listrik dari A ke B. Jadi, dapat dikatakan bahwa muatan listrik positif mengalir dari titik berpotensial tinggi ke titik berpotensial rendah. Selanjutnya, aliran muatan listrik positif tersebut dinamakan *arus listrik*. Jadi, arus listrik dapat didefinisikan sebagai aliran muatan positif dari potensial tinggi ke potensial rendah. Arus listrik terjadi apabila ada perbedaan potensial. Bagaimana bila dua titik yang dihubungkan mempunyai potensial yang sama? Tentu saja tidak ada aliran muatan listrik positif atau tidak terjadi arus listrik.



Sumber: Jendela Iptek, Listrik

Gambar 7.3 *J.J Thompson*

Anda pasti berpikir bagaimana halnya dengan muatan listrik negatif? Apakah muatan listrik negatif tidak dapat mengalir? Pada perkembangan selanjutnya, setelah elektron ditemukan oleh ilmuwan fisika J.J. Thompson (1856–1940), ternyata muatan yang mengalir pada suatu penghantar bukanlah muatan listrik positif, melainkan muatan listrik negatif yang disebut *elektron*.

Arah aliran elektron dari potensial rendah ke potensial tinggi (berlawanan dengan arah aliran muatan positif). Namun hal ini tidak menjadikan masalah, karena banyaknya elektron yang mengalir dalam suatu penghantar sama dengan banyaknya muatan listrik positif yang mengalir, hanya arahnya yang berlawanan. Jadi, arus listrik tetap didefinisikan berdasarkan aliran muatan positif yang disebut *arus konvensional*.

1. Kuat Arus Listrik

Anda telah mengetahui tentang pengertian arus listrik, yaitu aliran muatan listrik positif pada suatu penghantar dari potensial tinggi ke potensial rendah. Agar lebih memahami tentang arus listrik, lakukanlah Kegiatan 7.1!

Kegiatan 7.1

Kuat Arus Listrik

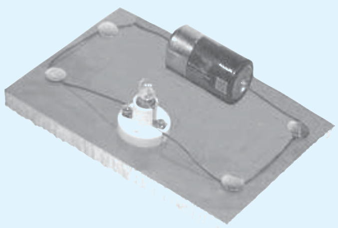
A. Tujuan

Anda dapat memahami kuat arus listrik.

B. Alat dan Bahan

Tiga buah baterai, 1 buah lampu, kabel, papan kayu, paku payung, dan alas bola lampu.

C. Langkah Kerja



1. Rangkailah bola lampu dan sebuah baterai dengan menggunakan kabel di atas papan kayu seperti pada gambar di samping!
2. Amatilah nyala bola lampu!
3. Lakukan kegiatan di atas dengan menggunakan 2 baterai dan 3 baterai!
4. Bandingkan nyala bola lampu!
5. Apa kesimpulan Anda?

Pada baterai terdapat dua kutub yang potensialnya berbeda. Jika kedua kutub tersebut dihubungkan dengan lampu melalui kabel, maka akan terjadi perpindahan elektron dari kutub negatif ke kutub positif atau terjadi arus listrik dari kutub positif ke kutub negatif, sehingga lampu dapat menyala.

Selanjutnya, jika baterai yang digunakan dua buah, maka lampu akan menyala lebih terang. Jika baterai yang digunakan tiga buah, maka lampu menyala makin terang. Mengapa demikian? Hal ini disebabkan beda potensial kutub positif dan kutub negatifnya makin besar sehingga muatan-muatan listrik yang mengalir pada penghantar makin banyak atau arus listriknya makin besar. Besarnya arus listrik (disebut kuat arus listrik) sebanding dengan banyaknya muatan listrik yang mengalir. Kuat arus listrik merupakan kecepatan aliran muatan listrik. Dengan demikian, yang dimaksud dengan kuat arus listrik adalah jumlah muatan listrik yang melalui penampang suatu penghantar setiap satuan waktu. Bila jumlah muatan q melalui penampang penghantar dalam waktu t, maka kuat arus I secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$I = \frac{q}{t} \text{ atau } q = I \times t$$

Keterangan:
I : kuat arus listrik (A)
q : muatan listrik yang mengalir (C)
t : waktu yang diperlukan (s)

Berdasarkan persamaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa *satu coulomb* adalah muatan listrik yang melalui sebuah titik dalam suatu penghantar dengan arus listrik tetap satu ampere dan mengalir selama satu sekon.

Mengingat muatan elektron sebesar $-1,6 \times 10^{-19}$ C, (tanda negatif (-) menunjukkan jenis muatan negatif), maka banyaknya elektron (n) yang menghasilkan muatan 1 coulomb dapat dihitung sebagai berikut.

$1 \text{ C} = n \times$ besar muatan elektron

$$1 \text{ C} = n \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$n = \frac{1}{1,6 \times 10^{-19}}$$

$$n = 6,25 \times 10^{18}$$

Jadi, dapat dituliskan $1 \text{ C} = 6,25 \times 10^{18}$ elektron.

Contoh 7.1

Diketahui dalam waktu 1 menit, pada suatu penghantar mengalir muatan sebesar 150 coulomb. Berapa kuat arus yang mengalir pada penghantar tersebut?

Diketahui : t = 1 menit = 60 s
q = 150 C
Ditanyakan: I = ... ?
Jawab :

$$I = \frac{q}{t}$$

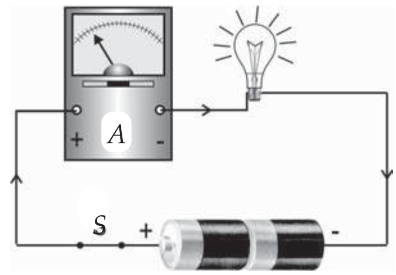
$$= \frac{150}{60}$$

$$= 2,5 \text{ A}$$

Jadi, kuat arus yang mengalir pada penghantar adalah 2,5 A.

2. Mengukur Kuat Arus Listrik

Bagaimana cara mengetahui besarnya arus listrik? Alat yang dapat digunakan untuk mengetahui kuat arus listrik adalah *amperemeter*. Pada pengukuran kuat arus listrik, amperemeter disusun seri pada rangkaian listrik sehingga kuat arus yang mengalir melalui amperemeter sama dengan kuat arus yang mengalir pada penghantar. Perhatikan Gambar 7.4!



Gambar 7.4 *Amperemeter dipasang seri*

Cara memasang amperemeter pada rangkaian listrik adalah sebagai berikut.

a. Terminal positif amperemeter dihubungkan dengan kutub positif sumber tegangan (baterai).

b. Terminal negatif amperemeter dihubungkan dengan kutub negatif sumber tegangan (baterai).

Jika sakelar pada rangkaian dihubungkan, maka lampu pijar menyala dan jarum pada amperemeter menyimpang dari angka nol. Besar simpangan jarum penunjuk pada amperemeter tersebut menunjukkan besar kuat arus yang mengalir.

Jika sakelar dibuka, maka lampu pijar padam dan jarum penunjuk pada amperemeter kembali menunjuk angka nol. Artinya tidak ada aliran listrik pada rangkaian tersebut. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa arus listrik hanya mengalir pada rangkaian tertutup.

3. Sakelar dan Sekering

Sakelar adalah alat yang berfungsi menghubungkan dan memutuskan arus listrik dalam waktu sementara. Dalam rangkaian listrik, sakelar dipasang secara seri. Ketika sakelar bekerja, rangkaian listrik tertutup dan arus listrik mengalir. Ketika sakelar tidak bekerja, maka rangkaian listrik menjadi terbuka, sehingga arus listrik tidak mengalir.

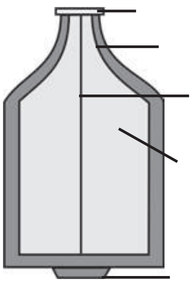
Sakelar dalam rangkaian listrik dibedakan menjadi dua macam, yaitu *sakelar satu kutub* dan *sakelar tukar*. Sakelar satu kutub digunakan untuk menyambung atau memutus arus pada satu cabang rangkaian, sedangkan sakelar tukar digunakan untuk menyambung dan memutus arus pada dua cabang rangkaian secara bergantian.



(a) Simbol sakelar satu kutub *(b) Simbol sakelar tukar*

Gambar 7.5 *Jenis sakelar*

Sekering mempunyai fungsi sebagai pemutus arus listrik secara otomatis. Sekering terbuat dari logam bertitik lebur rendah yang berupa kawat halus. Jika arus listrik yang lewat terlalu besar atau melebihi kapasitas, maka kawat ini akan meleleh dan putus sehingga aliran arus listrik akan berhenti. Misalnya, jika terjadi korsleting (hubungan pendek), maka kuat arus akan membesar. Arus yang besar ini dapat memanaskan kawat sekering sampai meleleh dan akhirnya putus.



(a) Skema sekering



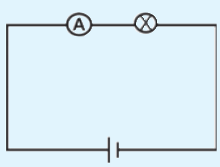
(b) Macam-macam bentuk sekering

Gambar 7.6 *Sekering*

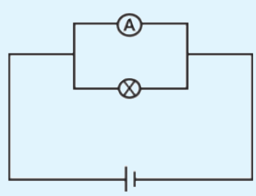
Sekering tidak hanya dipasang pada instalasi listrik rumah tangga saja, tetapi juga dipasang pada alat-alat listrik yang lain, seperti televisi, komputer, dan radio.

Soal Kompetensi 7.1

1. Apa yang Anda ketahui tentang arus listrik?
2. Mengapa kabel yang terdapat di dalam kabel sekering berupa kawat halus dan bertitik lebur rendah?
3. Perhatikan gambar rangkaian berikut!



(*a*)

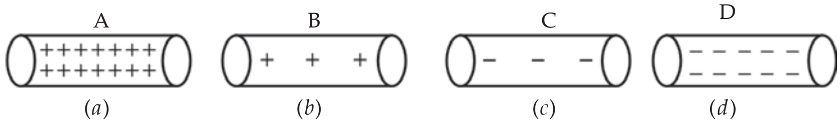


(*b*)

Tentukan rangkaian yang benar ketika Anda ingin mengukur arus dengan menggunakan amperemeter!

B. Beda Potensial

Potensial listrik adalah banyaknya muatan yang terdapat dalam suatu benda. Suatu benda dikatakan mempunyai potensial listrik lebih tinggi daripada benda lain, jika benda tersebut memiliki muatan positif lebih banyak daripada muatan positif benda lain.



Gambar 7.7 Muatan listrik pada beberapa benda

Pada Gambar 7.7, terlihat bahwa benda A memiliki muatan positif paling banyak sehingga benda A mempunyai potensial listrik paling tinggi, disusul benda B, C, baru kemudian D. Apa yang dimaksud dengan beda potensial?

Beda potensial listrik (tegangan) timbul karena dua benda yang memiliki potensial listrik berbeda dihubungkan oleh suatu penghantar. Beda potensial ini berfungsi untuk mengalirkan muatan dari satu titik ke titik lainnya. Satuan beda potensial adalah volt (V). Alat yang digunakan untuk mengukur beda potensial listrik disebut *voltmeter*. Secara matematis beda potensial dapat dituliskan sebagai berikut.

$$V = \frac{W}{q}$$

Keterangan:
V : beda potensial (V)
W : usaha/energi (J)
q : muatan listrik (C)

Contoh 7.2

Untuk memindahkan muatan 4 coulomb dari titik A ke B diperlukan usaha sebesar 10 joule. Tentukan beda potensial antara titik A dan B!

Diketahui : q = 4 C
W = 10 J
Ditanyakan: V = ... ?
Jawab :

$$V = \frac{W}{q} = \frac{10}{4} = 2{,}5 \text{ V}$$

Telah disinggung bahwa, alat yang digunakan untuk mengukur suatu tegangan adalah voltmeter. Untuk dapat menggunakannya lakukan Kegiatan 7.2 berikut!

Kegiatan 7.2

Beda Potensial

A. Tujuan

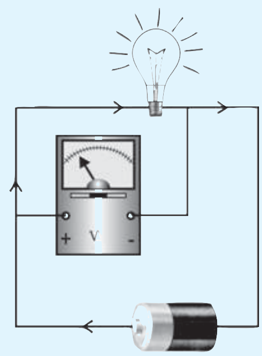
Anda dapat melakukan pengukuran beda potensial.

B. Alat dan Bahan

Bola lampu, batu baterai, voltmeter, dan kabel.

C. Langkah Kerja

1. Rangkailah alat-alat tersebut seperti gambar di samping!
2. Catatlah beda potensial yang ditunjukkan voltmeter!
3. Ulangi kegiatan di atas dengan menggunakan 2 dan 3 baterai!
4. Apa kesimpulan Anda?



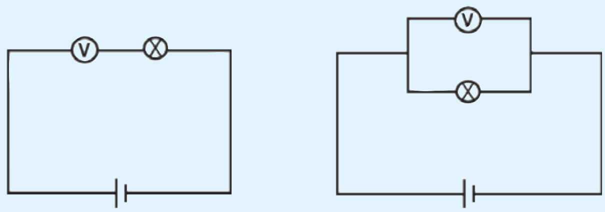
Saat mengukur beda potensial listrik, voltmeter harus dipasang secara paralel dengan benda yang diukur beda potensialnya. Untuk memasang voltmeter, Anda tidak perlu memotong rangkaian, namun cukup menghubungkan ujung yang potensialnya lebih tinggi ke kutub positif dan ujung yang memiliki potensial lebih rendah ke kutub negatif.

Berdasarkan Kegiatan 7.2, dapat diketahui bahwa ketika sumber tegangan ditambah (baterai ditambah), maka jumlah muatan yang dihantarkan makin besar sehingga arusnya meningkat. Hal ini membuat nyala lampu menjadi lebih terang.

Soal Kompetensi 7.2

1. Antara potensial listrik dan arus listrik, mana yang lebih berbahaya? Jelaskan alasan Anda!
2. Mengapa burung-burung yang hinggap pada kabel listrik tegangan tinggi tidak mati? Jelaskan dengan konsep beda potensial!

3. Manakah dari gambar rangkaian berikut yang benar untuk mengukur beda potensial?



(*a*) (*b*)

C. Hukum Ohm

Pada rangkaian listrik tertutup, terjadi aliran arus listrik. Arus listrik mengalir karena adanya beda potensial antara dua titik pada suatu penghantar, seperti pada lampu senter, radio, dan televisi. Alat-alat tersebut dapat menyala (berfungsi) karena adanya aliran listrik dari sumber tegangan yang dihubungkan dengan peralatan tersebut sehingga menghasilkan beda potensial.

Orang pertama yang menyelidiki hubungan antara kuat arus listrik dengan beda potensial pada suatu penghantar adalah Georg Simon Ohm, ahli fisika dari Jerman.Ohm berhasil menemukan hubungan secara matematis antara kuat arus listrik dan beda potensial, yang kemudian dikenal sebagai Hukum Ohm. Untuk mengetahui hubungan tersebut, lakukanlah Kegiatan 7.3 berikut!

Kegiatan 7.3

Hubungan Kuat Arus Listrik dengan Beda Potensial

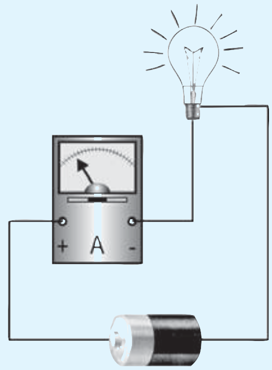
A. Tujuan

Anda dapat mengetahui hubungan antara kuat arus listrik dengan beda potensial.

B. Alat dan Bahan

Empat buah baterai 1,5 volt, amperemeter, lampu pijar, dan kabel.

C. Langkah Kerja



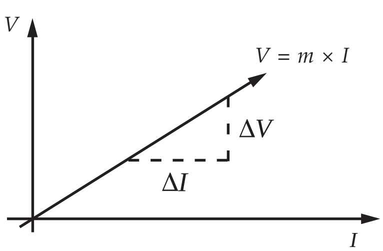
1. Rangkailah sebuah baterai, amperemeter, dan lampu seperti pada gambar di samping dengan menggunakan kabel!
2 Baca dan catat skala yang ditunjukkan oleh amperemeter ke dalam tabel seperti berikut!

Tabel Hasil Pengamatan

No	Jumlah Baterai	Beda Potensial (V)	Kuat Arus (I)	$\frac{V}{I}$
1.	1 baterai	1,5 V	...	...
2.	2 baterai	3 V	...	...
3.	3 baterai	4,5 V	...	...
4.	4 baterai	6 V	...	...

3. Ulangi kegiatan di atas dengan menggunakan 2, 3, dan 4 baterai!
4. Catatlah data yang Anda peroleh!
5. Apa kesimpulan Anda?

Berdasarkan tabel pada Kegiatan 7.3, Anda ketahui bahwa makin besar beda potensial yang ditimbulkan, maka kuat arus yang mengalir makin besar pula. Besarnya perbandingan antara beda potensial dan kuat arus listrik selalu sama (konstan). Jadi, beda potensial sebanding dengan kuat arus ($V \sim I$). Secara matematis dapat Anda tuliskan $V = m \times I$, m adalah konstanta perbandingan antara beda potensial dengan kuat arus. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar grafik berikut!



Gambar 7.8 Grafik hubungan antara kuat arus dengan beda potensial

Berdasarkan grafik di atas, nilai m dapat Anda peroleh dengan persamaan $m = \frac{\Delta V}{\Delta I}$. Nilai m yang tetap ini kemudian didefinisikan sebagai besaran hambatan listrik yang dilambangkan R, dan diberi satuan ohm (Ω), untuk menghargai Georg Simon Ohm. Jadi, persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut.

$$R = \frac{V}{I} \text{ atau } V = I \times R$$

Keterangan:
V : beda potensial atau tegangan (V)
I : kuat arus (A)
R : hambatan listrik (Ω)

Persamaan di atas dikenal sebagai Hukum Ohm, yang berbunyi "*Kuat arus yang mengalir pada suatu penghantar sebanding dengan beda potensial antara ujung-ujung penghantar itu dengan syarat suhunya konstan/tetap.*"

Contoh 7.3

Diketahui kuat arus sebesar 0,5 ampere mengalir pada suatu penghantar yang memiliki beda potensial 6 volt. Tentukan hambatan listrik penghantar tersebut!

Diketahui : $V = 6$ V
$I = 0{,}5$ A
Ditanyakan: $R = \ldots$?
Jawab :

$$V = I \times R \Rightarrow \quad R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{6}{0{,}5} = 12\ \Omega$$

Pada kehidupan sehari-hari, kadang kita menemukan sebuah alat listrik yang bertuliskan 220 V/2 A. Tulisan tersebut dibuat bukan tanpa tujuan. Tulisan tersebut menginformasikan bahwa alat tersebut akan bekerja optimal dan tahan lama (awet) ketika dipasang pada tegangan 220 V dan kuat arus 2 A. Bagaimana kalau dipasang pada tegangan yang lebih tinggi atau lebih rendah? Misalnya, ada 2 lampu yang bertuliskan 220 V/2 A, masing-masing dipasang pada tegangan 440 V dan 55 V. Apa yang terjadi?

Tulisan 220 V/2 A menunjukkan bahwa lampu tersebut mempunyai hambatan sebesar $(R) = \frac{220\text{V}}{2\text{A}} = 110\,\Omega$. Jadi, arus listrik yang diperbolehkan mengalir sebesar 2 A dan tegangannya sebesar 220 V. Jika dipasang pada tegangan 440 V, maka akan mengakibatkan kenaikan arus menjadi $I = \frac{V}{R} = \frac{440}{110} = 4$ A. Arus sebesar ini mengakibatkan lampu tersebut bersinar sangat terang tetapi tidak lama kemudian menjadi putus/rusak. Begitu juga apabila lampu tersebut dipasang pada tegangan 55 V, maka arus akan mengalami penurunan menjadi $I = \frac{V}{R} = \frac{55}{110} = 0{,}5$ A. Arus yang kecil ini mengakibatkan lampu menjadi redup (tidak terang). Oleh karena itu, perhatikan selalu petunjuk penggunaan apabila menggunakan alat-alat listrik.



Gambar 7.9 Bola lampu yang bertuliskan 220 V/2 A

Soal Kompetensi 7.3

1. Perhatikan lampu pijar Anda di rumah. Kadang-kadang nyala lampu pijar tersebut lebih terang atau lebih redup daripada biasanya, mengapa?
2. Jelaskan dengan bahasa Anda, hubungan antara kuat arus dengan beda potensial!
3. Jika hambatan listrik sebuah rangkaian dijadikan 3 kali dari semula dan beda potensial di antara ujung-ujungnya dijaga tetap, maka apa yang terjadi pada kuat arusnya?

Tokoh

Georg Simon Ohm
(1787 – 1854)



Sumber: Jendela Iptek, Listrik

Georg Simon Ohm lahir di Eriangen, Bavaria (Jerman Barat) pada tanggal 26 Maret 1787. Ia merupakan ahli fisika Jerman yang berasal dari keluarga miskin. Ayahnya yang hanya seorang mandor montir mengharapkan Ohm menjadi seorang ilmuwan, namun Ohm sendiri ingin menjadi guru besar di universitas.

Setelah lulus dari universitas, ia bekerja sebagai guru SMA. Untuk dapat mengajar di universitas sebagai guru besar, ia harus melakukan riset dan membuat karya ilmiah. Beliau kemudian menyelidiki arus listrik yang ditemukan Volta. Ia menggunakan hasil penyelidikan Fourier, seorang ahli matematika Prancis untuk mengetahui sifat-sifat arus listrik. Akhirnya pada tahun 1827, saat Ohm berumur 40 tahun, ia berhasil membuat teori dari hasil penelitiannya. Teorinya mengatakan bahwa arus listrik yang melalui suatu penghantar berbanding terbalik dengan hambatannya. Teorinya kemudian dikenal dengan *Hukum Ohm*. Penemuannya dipaparkan secara jelas dalam sebuah buku yang berjudul "*Sirkuit Galvanik*" yang diselidiki secara matematik pada tahun 1827.

Penemuannya ternyata mendapat kecaman dan kritik. Karena sangat kecewa, ia kemudian berhenti menjadi guru. Namun, 14 tahun kemudian penemuannya diterima dan diakui, ia kemudian diangkat menjadi guru besar di Universitas Munich, dan ia diakui sebagai ilmuwan bertaraf internasional. Ia meninggal di Munich pada tanggal 7 Juli 1854 dalam usia 67 tahun.

(Dikutip seperlunya dari 100 Ilmuwan, *John Hudson Tiner, 2005)*

D. Hambatan Listrik

Berdasarkan persamaan hukum Ohm, hambatan listrik dapat didefinisikan sebagai hasil bagi beda potensial antara ujung-ujung penghantar dengan kuat arus yang mengalir pada penghantar tersebut. Untuk mengenang jasa Georg Simon Ohm, namanya dipakai sebagai satuan hambatan listrik, yaitu ohm (Ω). Suatu penghantar dikatakan mempunyai hambatan satu ohm apabila dalam penghantar tersebut mengalir arus listrik sebesar satu ampere yang disebabkan adanya beda potensial di antara ujung-ujung penghantar sebesar satu volt.

1. Jenis-Jenis Hambatan

Pada kehidupan sehari-hari dikenal beberapa jenis hambatan (resistor) yang sering digunakan sesuai kebutuhannya. Jenis-jenis hambatan (resistor) tersebut, antara lain, resistor tetap dan resistor variabel.

a. Resistor Tetap

Pada resistor tetap yang biasanya dibuat dari karbon atau kawat nikrom tipis, nilai hambatannya disimbolkan dengan warna-warna yang

melingkar pada kulit luarnya. Simbol warna-warna tersebut mempunyai arti sesuai dengan letaknya. Perhatikan Tabel 7.1!



Gambar 7.10 Resistor tetap

Tabel 7.1 Kode Warna Resistor

Warna	Pita ke-1 Angka ke-1	Pita ke-2 Angka ke-2	Pita ke-3 Angka nol	Pita ke-4 Akurasi
Hitam	0	0	-	-
Coklat	1	1	0	± 1%
Merah	2	2	00	± 2%
Oranye	3	3	000	-
Kuning	4	4	0 000	-
Hijau	5	5	00 000	-
Biru	6	6	000 000	-
Ungu	7	7	-	-
Abu-abu	8	8	-	-
Putih	9	9	-	-
Emas	-	-	× 0,1	± 5%
Perak	-	-	× 0,01	± 10%
Tanpa pita	-	-	-	± 20%

Warna pada pita ke-1 menunjukkan angka pertama, pita ke-2 menunjukkan angka ke-2, pita ke-3 menunjukkan banyaknya angka nol, dan pita ke-4 menunjukkan tingkat akurasi. Resistor tetap yang dipasang pada rangkaian listrik seperti radio, televisi, dan komputer berfungsi untuk mengatur kuat arus listrik dan beda potensial pada nilai-nilai tertentu sehingga komponen-komponen listrik pada rangkaian tersebut dapat berfungsi dengan baik.

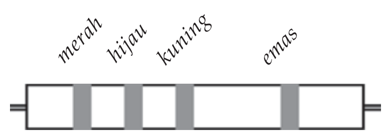
Contoh 7.3

Resistor pada gambar di samping memiliki warna merah, hijau, kuning, dan emas. Tentukan nilai hambatan resistor tersebut!

Diketahui :

pita ke-1, merah = 2
pita ke-2, hijau = 5
pita ke-3, kuning = 0,000
pita ke-4, emas = ± 5 %

Ditanyakan: nilai hambatan = ... ?



Jawab :

Nilai hambatan resistor dengan warna merah, hijau, kuning, dan emas adalah 250.000 Ω dengan tingkat akurasi 5 %. Hal ini berarti bahwa nilai hambatan yang sebenarnya adalah berkisar antara:

$$\text{batas bawah} = 250.000 - \left(\frac{5}{100} \times 250.000\right)$$
$$= 250.000 - 12.500$$
$$= 237.500\ \Omega$$

$$\text{batas atas} = 250.000 + \left(\frac{5}{100} \times 250.000\right)$$
$$= 250.000 + 12.500$$
$$= 262.500\ \Omega.$$

Jadi, nilai hambatan resistor tersebut adalah 250.000 Ω $\pm$ 12.500 Ω.

b. Resistor Variabel



(a) Tipe bergeser *(b) Tipe berputar*

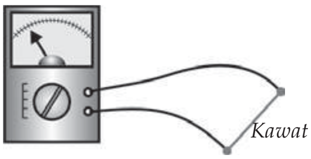
Gambar 7.11 *Macam-macam resistor variabel*

Di pasaran, resistor variabel yang kita kenal ada dua, yaitu resistor variabel tipe berputar dan bergeser (*rheostat*). Pada prinsipnya, cara kerja kedua resistor ini adalah sama, yaitu memutar atau menggeser kontak luncur untuk menambah atau mengurangi nilai hambatan sesuai kebutuhan. Resistor variabel ini dapat kita temui pada sistem volume di radio, *tape recorder*, dan alat-alat elektronik lainnya.

2. Mengukur Hambatan

Anda telah dapat mengukur besar kuat arus maupun beda potensial pada suatu penghantar. Sekarang, bagaimana caranya mengukur besar hambatan listrik? Untuk mengukur hambatan listrik ada dua cara, yaitu secara langsung dan tidak langsung.

a. Mengukur Hambatan Secara Langsung

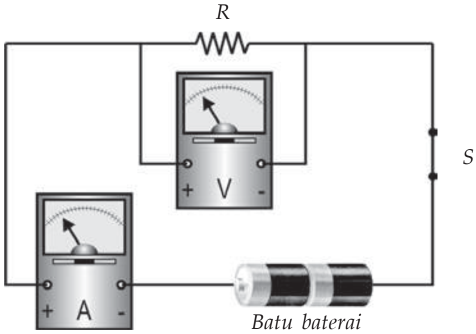


Gambar 7.12 *Penggunaan multimeter*

Anda tentu telah mengenal *multimeter*, yaitu alat yang dapat digunakan untuk mengukur kuat arus, beda potensial, dan hambatan. Untuk mengukur hambatan dengan menggunakan multimeter, terlebih dahulu kita putar sakelar pilih pada multimeter ke arah yang bertanda *R*. Dengan demikian, multimeter telah berfungsi sebagai *ohmmeter* (pengukur hambatan). Hubungkan ujung-ujung terminal multimeter dengan ujung-ujung benda yang akan diukur hambatannya, kemudian perhatikan skala yang ditunjukkan pada multimeter!

b. Mengukur Hambatan Secara Tidak Langsung

Selain menggunakan multimeter, Anda juga dapat menggabungkan voltmeter dan amperemeter secara bersama-sama pada rangkaian listrik yang diukur hambatannya. Voltmeter dipasang secara paralel, sedangkan amperemeter dipasang seri dengan benda yang akan diukur hambatannya.



Gambar 7.13 *Pemasangan amperemeter dan voltmeter pada rangkaian*

Setelah rangkaian terpasang seperti terlihat pada Gambar 7.12, bacalah skala yang ditunjukkan voltmeter maupun amperemeter, kemudian hitunglah nilai hambatan *R* dengan persamaan hukum ohm!

$$R = \frac{V}{I} \text{ atau } R = \frac{\text{skala yang terbaca pada voltmeter}}{\text{skala yang terbaca pada ampermeter}}.$$

Untuk ketelitian yang lebih baik, ulangilah pengukuran tersebut dengan cara mengubah-ubah beda potensialnya (dengan 1 baterai, 2 baterai, 3 baterai, dan 4 baterai)!

3. Hambatan pada Kawat Penghantar

Kawat penghantar yang dipakai pada kawat listrik pasti mempunyai hambatan, meskipun nilainya kecil. Untuk menyelidiki faktor-faktor yang memengaruhi besarnya hambatan suatu penghantar, lakukan Kegiatan 7.4 berikut!

Kegiatan 7.4

Hambatan pada Kawat Penghantar

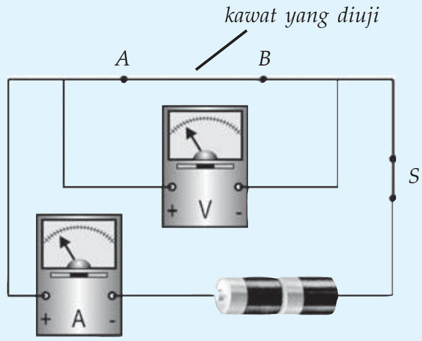
A. Tujuan

Anda dapat mengetahui faktor-faktor yang memengaruhi nilai hambatan suatu kawat penghantar.

B. Alat dan Bahan

Kawat tembaga dengan luas penampang kecil dan besar (2× yang kecil) dengan panjang 1 m dan 2 m, kawat nikelin dengan panjang 1 m dan 2 m, voltmeter, amperemeter, dan 2 buah baterai (@1,5 V).

C. Langkah Kerja



1. Buatlah rangkaian seperti gambar di atas dengan kawat tembaga yang luas penampangnya kecil dan panjangnya 1 m (*AB*)!
2. Tutuplah sakelar (*S*), kemudian amati skala yang tertera pada voltmeter dan amperemeter!
3. Hitung hambatan kawat penghantar tersebut!
4. Ulangilah kegiatan tersebut dengan mengubah panjang, luas penampang, dan jenis kawat!
5. Catatlah hasil kegiatan Anda dalam tabel di dalam buku tugas!

6. Apa kesimpulan Anda?

Tabel Hasil Pengamatan

No	Jenis kawat	Panjang Kawat (l)	Tegangan (V)	Kuat Arus (I)	$R = \frac{V}{I}$
1.	Tembaga penampang kecil	1 m	3 volt	...	...
2.	Tembaga penampang kecil	2 m	3 volt	...	...
3.	Tembaga penampang besar (2× penampang kecil)	1 m	3 volt	...	...
4.	Tembaga penampang besar (2× penampang kecil)	2 m	3 volt	...	...
5.	Nikelin penampang kecil	1 m	3 volt	...	...
6.	Nikelin penampang kecil	2 m	3 volt	...	...

Berdasarkan Kegiatan 7.4, dapat diperoleh kesimpulan bahwa hambatan listrik suatu kawat penghantar dipengaruhi oleh panjang kawat (l), hambatan jenis kawat (ρ), dan luas penampang kawat (A). Secara matematis, hubungan ketiga faktor tersebut dapat dituliskan sebagai berikut.

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Keterangan:

R : hambatan kawat penghantar (Ω)

l : panjang kawat penghantar (m)

A : luas penampang kawat penghantar (m^2)

ρ : hambatan jenis kawat penghantar $(\Omega\,m)$

Contoh 7.4

1. Diketahui sebuah kawat penghantar memiliki panjang 100 m, luas penampang 2,5 mm^2, dan hambatan jenis sebesar $17 \times 10^{-7}\ \Omega\,m$. Tentukan besarnya hambatan kawat tersebut!

   Diketahui : a. l = 100 m

   b. $A = 2{,}5\ mm^2 = 25 \times 10^{-7}\ m^2$

   c. $\rho = 17 \times 10^{-7}\ \Omega\,m$

Ditanyakan : R = ... ?

Jawab :

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$= 17 \times 10^{-7} \times \frac{100}{25 \times 10^{-7}}$$

$$= 68 \ \Omega$$

Jadi, besarnya hambatan kawat adalah 68 Ω.

2. Kawat yang panjangnya 200 meter dan luas penampangnya 0,5 mm^2 mempunyai hambatan listrik 56 Ω. Tentukan hambatan jenis kawat tersebut!

Diketahui : a. l = 200 m

b. A = 0,5 mm^2 = 5×10^{-7} m^2

c. R = 56 Ω

Ditanyakan: ρ = ... ?

Jawab :

$$\rho = \frac{R \times A}{l}$$

$$= \frac{56 \times 5 \times 10^{-7}}{200}$$

$$= 1{,}4 \times 10^{-7} \ \Omega \text{ m}$$

Jadi, hambatan jenis kawat adalah $1{,}4 \times 10^{-7}$ Ω m.

Berdasarkan persamaan dan contoh tersebut, terlihat bahwa apabila kawat penghantar makin panjang dan hambatan jenisnya makin besar, maka nilai hambatannya bertambah besar. Tetapi apabila luas penampang kawat penghantar makin besar, ternyata nilai hambatannya makin kecil. Untuk nilai hambatan jenis suatu penghantar besar kecilnya sudah ditentukan para ilmuwan. Perhatikan Tabel 7.2 berikut!

Tabel 7.2 Nilai Hambatan Jenis Berbagai Bahan

No	Nama Zat	Hambat Jenis (ohm.m)
1.	Air	10^2
2.	Air suling	$10^3 – 10^5$
3.	Alkohol	5×10^4
4.	Aluminium	$2,9 \times 10^8$
5.	Asam sulfat	$2,5 \times 10^2$
6.	Bakelit	$10^5 – 10^{10}$
7.	Besi	$8,6 \times 10^{-8}$
8.	Ebonit	$10^{13} – 10^{16}$
9.	Emas	$2,3 \times 10^{-8}$
10.	Kaca	$10^{11} – 10^{14}$
11.	Karbon	6×10^5
12.	Raksa	$9,58 – 10^{-7}$
13.	Karet	$10^8 – 10^{13}$
14.	Mangan	$4,3 \times 10^{-7}$
15.	Mika	10^{13}
16.	Minyak tanah	10^{14}
17.	Parafin	10^{14}
18.	Perak	$1,6 \times 10^{-8}$
19.	Porselin	$10^{12} – 10^{14}$
20.	Tembaga	$1,7 \times 10^{-14}$
21.	Timbal	$2,1 \times 10^{-7}$
22.	Wolfram	$5,6 \times 10^{-8}$
23.	Konstanta	5×10^{-7}

Sumber: Fisika, Kane & Sternheim, 1991.

Tegangan listrik di rumah Anda, mungkin pernah mengalami penurunan. Kejadian tersebut biasanya terlihat pada malam hari ketika semua alat listrik dan lampu dinyalakan, ternyata nyala lampu sedikit redup. Hal ini disebabkan tegangan harus melewati kawat yang sangat panjang untuk sampai ke rumah Anda dari gardu induk PLN. Padahal makin panjang kawat yang digunakan, makin besar hambatannya. Menurut hukum ohm, $V = I \times R$, makin besar harga hambatan (R), makin besar pula beda potensial/tegangan (V). Beda potensial yang dimaksud adalah beda potensial yang hilang pada kawat penghantar. Oleh karena itu, bila tegangan listrik di rumah Anda ukur, ternyata besarnya kurang dari 220 volt, seperti yang tertulis pada PLN.

E. Hukum Kirchhoff

1. Hukum I Kirchhoff



Sumber: Jendela Iptek, Listrik

***Gambar 7.14** Kirchoff*

Anda sudah dapat mengukur kuat arus listrik dalam suatu rangkaian tertutup sederhana yang tidak bercabang, di mana kuat arus di setiap titik pada setiap penghantar besarnya sama. Bagaimana cara mengukur kuat arus yang mengalir pada rangkaian bercabang? Apakah cara mengukur kuat arus pada rangkaian itu juga sama? Untuk mejawab pertanyaan-pertanyaan tersebut lakukanlah Kegiatan 7.5 berikut!

Kegiatan 7.5

Kuat Arus dalam Rangkaian Bercabang

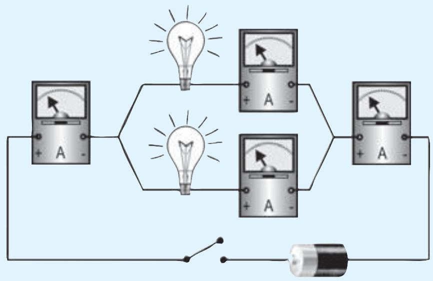
A. Tujuan

Anda dapat mengetahui kuat arus di setiap titik dalam rangkaian bercabang.

B. Alat dan Bahan

Baterai, 4 buah amperemeter, 2 buah lampu pijar, dan kabel.

C. Langkah Kerja



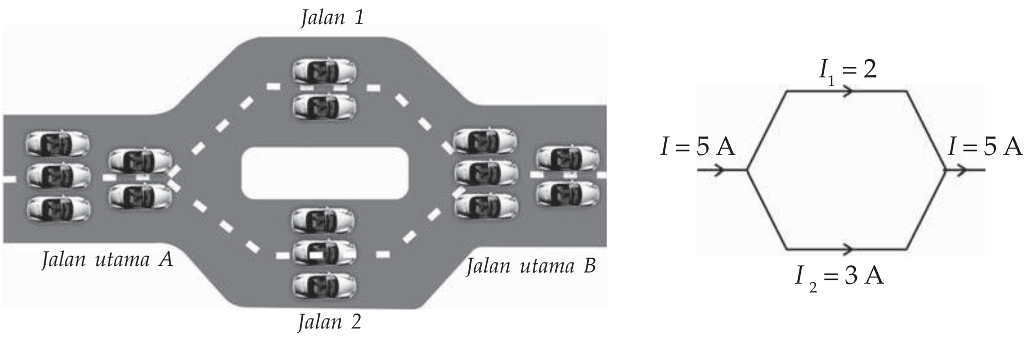
1. Buatlah rangkaian seperti terlihat pada gambar di atas!
2. Tutuplah sakelar (s) dan bacalah skala yang ditunjukkan oleh jarum amperemeter 1, 2, 3, dan 4!
3. Bandingkan besar kuat arus pada masing-masing amperemeter tersebut!
4. Nyatakan kesimpulan Anda!

Pada Kegiatan 3.5, ternyata amperemeter 1 dan 4 menunjukkan skala yang sama, sedangkan jumlah dari skala yang ditunjukkan amperemeter 2 dan 3 sama dengan skala yang ditunjukkan amperemeter 1 dan 4.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa arus yang masuk pada titik percabangan sama dengan kuat arus yang keluar pada titik percabangan tersebut. Pernyataan ini dikenal sebagai Hukum I Kirchoff, yang secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\Sigma I_{\text{masuk}} = \Sigma I_{\text{keluar}}$$

Untuk lebih memahami kuat arus pada rangkaian listrik bercabang, dapat Anda umpamakan sebagai jalan raya yang bercabang.



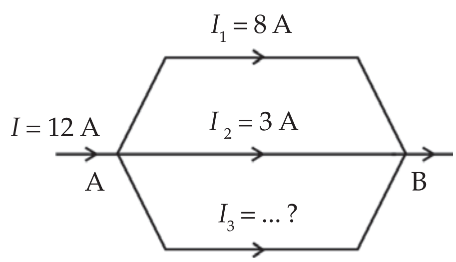
Gambar 7.15 Jumlah arus tiap titik pada rangkaian bercabang

Pada Gambar 7.15, terlihat bahwa jumlah mobil di jalan utama A sebanyak lima buah, kemudian mobil tersebut berpencar di persimpangan sehingga yang melewati jalan satu sebanyak 2 buah dan jalan dua sebanyak tiga buah. Pada persimpangan yang lain, mobil-mobil tersebut bertemu lagi di jalan utama B sehingga mobil yang melewati jalan utama B sama dengan jumlah mobil yang melewati jalan satu dan dua atau jumlah mobil yang melewati jalan utama A.

Contoh 7.5

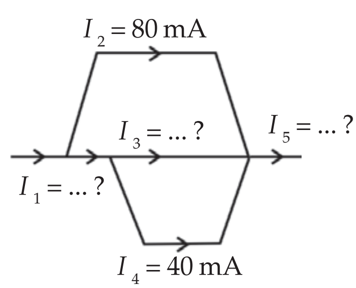
1. Pada gambar rangkaian di samping! Berapa besar kuat arus pada I_3

   Diketahui : I_{masuk} = 12 A
   I_1 = 8 A
   I_2 = 3 A
   Ditanyakan: I_3 = ... ?
   Jawab :

   $$\Sigma I_{masuk} = \Sigma I_{keluar}$$
   $$I_{total} = I_1 + I_2 + I_3$$
   $$12 = 8 + 3 + I_3$$
   $$12 = 11 + I_3$$
   $$I_3 = 12 - 11$$
   $$I_3 = 1 \text{ A}$$

2. Perhatikan gambar di samping! Jika besarnya arus yang masuk 200 mA, maka hitunglah besarnya kuat arus I_1, I_3 dan I_5!

   Diketahui : I_{masuk} = 200 mA
   I_2 = 80 mA
   I_4 = 40 mA

Ditanyakan: a. I_1 = ... ?
b. I_3 = ... ?
c. I_5 = ... ?

Jawab :

a. $I_{masuk} = I_1 + I_2$
$200 = I_1 + 80$
$I_1 = 200 - 80$
$= 120$ mA

b. $I_1 = I_3 + I_4$
$120 = I_3 + 40$
$I_3 = 120 - 40$
$= 80$ mA

c. $I_5 = I_2 + I_3 + I_4$
$= 80 + 80 + 40$
$= 200$ mA

2. Hukum II Kirchhoff

Hukum II Kirchhoff atau hukum loop menyatakan bahwa *jumlah perubahan potensial yang mengelilingi lintasan tertutup pada suatu rangkaian harus sama dengan nol*. Hukum ini di dasarkan pada hukum kekekalan energi. Secara matematis hukum II Kirchhoff dapat dinyatakan sebagai berikut.

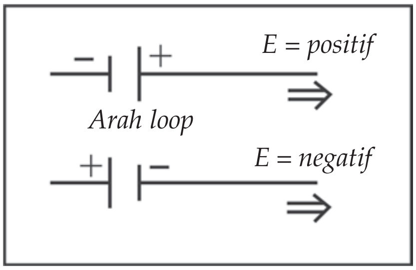
$$\Sigma E = \Sigma (I \times R)$$

Keterangan:

E : ggl sumber arus (volt)
I : kuat arus (A)
R : hambatan (Ω)

Pada perumusan hukum II Kirchhoff, mengikuti ketentuan sebagai berikut.

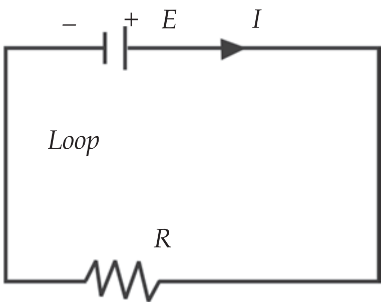
a. Semua hambatan (R) dihitung positif.
b. Pada arah perjalanan atau penelusuran rangkaian tertutup (loop), jika sumber arus berawal dari kutub negatif ke kutub positif, maka ggl-nya dihitung positif. Jika sebaliknya dari kutub positif ke kutub negatif, maka ggl nya dihitung negatif.



Gambar 7.16 *Tanda positif dan negatif ggl.*

c. Arus yang searah dengan penelusuran loop dihitung positif, sedang yang berlawanan dengan arah penelusuran dihitung negatif.
d. Jika hasil akhir perhitungan kuat arus bernilai negatif, maka kuat arus yang sebenarnya merupakan kebalikan dari arah yang ditetapkan.

a. Kuat Arus Listrik dalam Rangkaian Sederhana



Gambar 7. 17 Rangkaian tertutup

Pada dasarnya sumber tegangan ggl memiliki hambatan dalam yang disimbulkan dengan r. Nilai r ini adalah nilai hambatan yang ada dalam ggl sumber tegangan pada suatu rangkaian. Perhatikan Gambar 7.17!

Pada Gambar 7.17 melukiskan rangkaian tertutup yang terdiri atas sebuah sumbu arus dengan ggl E, hambatan dalam r, dan sebuah penghambat dengan hambatan R, sedang arus pada rangkaian I. Menurut hukum II Kirchhoff, pada rangkaian berlaku persamaan seperti berikut.

$$E = (I \times r) + (I \times R) \text{ atau } E = I\,(r + R) \text{ atau } I = \frac{E}{r + R}$$

Keterangan:
E : ggl sumber arus (V)
I : kuat arus (A)
r : hambatan dalam sumber arus (Ω)
R : hambatan penghambat (Ω)

Nilai $I \times R$ pada persamaan di atas merupakan tegangan penggunaan di luar sumber arus yang disebut tegangan jepit (K). Jadi, persamaan di atas dapat ditulis sebagai berikut.

$$E = I \times r + K \text{ atau } K = E - I \times r$$

Keterangan:
K : tegangan jepit (V)

Contoh 7.6

Sebuah kawat penghantar dengan hambatan 11,5 ohm dihubungkan dengan sumber tegangan 6 V yang hambatan dalamnya 0,5 ohm. Hitunglah kuat arus pada rangkaian dan tegangan jepitnya!

Diketahui : a. R : 11,5 Ω
b. E : 6 V
c. r = 0,5 Ω

Ditanyakan: a. I = ...?
b. K = ...?

Jawab :

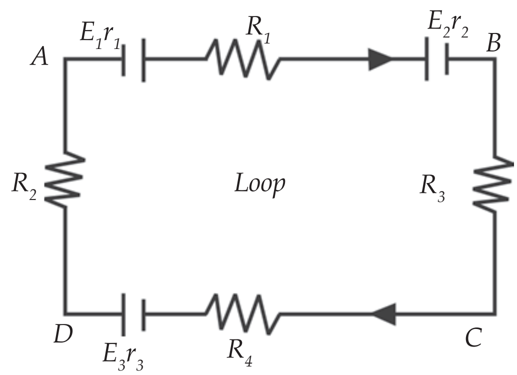
a. Kuat arus pada rangkaian

$$I = \frac{E}{R+r} = \frac{6}{11,5+0,5} = 0,5 \text{ A}$$

b. Tegangan Jepit
$K = I \times R = 0,5 \times 11,5 = 5,75$ V

b. Kuat Arus Listrik dalam Rangkaian Majemuk (Kompleks)

Gambar 7.18 menunjukkan satu rangkaian tertutup yang terdiri atas satu loop. Misalkan arah arus dan arah penelusuran loop kita tentukan searah putaran jarum jam. Menurut hukum II Kirchhoff pada rangkaian berlaku persamaan $\Sigma E = \Sigma(I \times R)$. Oleh karena itu persamaannya menjadi seperti berikut.



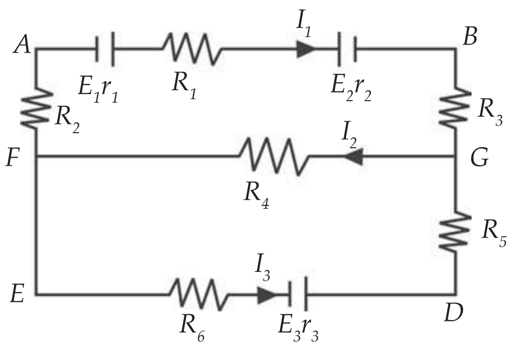
Gambar 7.18 *Rangkaian satu loop.*

$$E_1 - E_2 + E_3 = I(r_1 + R_1 + r_2 + R_2 + R_3 + R_4 + r_3)$$

Jika pada penjabaran di atas dihasilkan nilai I negatif, maka arah arus yang sebenarnya adalah kebalikan dari arah yang ditentukan pada gambar. Bagaimana jika penelusuran rangkaian berawal dari satu titik dan berakhir pada titik lain? Misalkan Anda akan menentukan tegangan atau beda potensial antara titik A dan B pada Gambar 7.18. Berdasarkan Hukum II Kirchhoff dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_{AB} + \Sigma E = \Sigma(I \times R)$$
$$V_{AB} + E_1 - E_2 = I(r_1 + R_1 + r_2)$$
$$V_{AB} = I(r_1 + R_1 + r_2) - E_1 + E_2$$

Untuk rangkaian yang memiliki dua loop atau lebih dapat diselesaikan dengan hukum II Kirchhoff dan hukum I Kirchhoff. Perhatikan Gambar 7.19!



Gambar 7.19 *Rangkaian dua loop.*

Pada gambar di atas dilukiskan rangkaian tertutup yang terdiri atas dua loop. Arah arus dan arah penelusuran tiap loop. Misalkan Anda bagi menjadi seperti berikut.

- Loop I ABGFA

  $\Sigma E = \Sigma(I \times R)$

  $E_1 - E_2 = I(r_1 + R_1 + r_2 + R_2 + R_3) + I_2 \times R_4$
- Loop II FEDGF

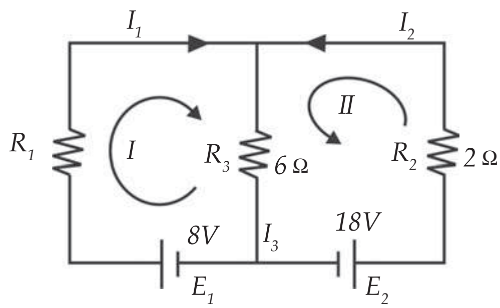
  $\Sigma E = \Sigma(I \times R)$

  $E_3 = I_3(R_6 + r_3 + R_5) + I \times R_4$
- Penerapan Hukum I Kirchhoff

  $I_2 = I_1 + I_3$

Contoh 7.7

1. Hitung kuat arus pada masing-masing penghambat pada gambar berikut!



Diketahui : a. $E_1 = 8$ V
b. $R_1 = 4\ \Omega$
c. $E_2 = 18$ V
d. $R_2 = 2\ \Omega$
e. $R3 = 6\ \Omega$

Ditanyakan: a. I_1 = ...?
b. I_2 = ...?
c. I_3 = ...?

Jawab:

- Hukum I Kirchhoff

  $I_3 = I_1 + I_2$ .... (1)

- Loop I

  $\Sigma E = \Sigma (I \times R)$

  $8 = I_1 \times 4 + I_3 \times 6$

  $8 = I_1 \times 4 + (I_1 + I_2)\ 6$

  $8 = 10\ I_1 + 6\ I_2$ .... (2)

- Loop II

  $E_2 = I_2 \times R_2 + I_3 \times R_3$

  $18 = I_2 \times 2 + (I_2 + I_1)\ 6$

  $18 = 2\ I_2 + 6\ I_1 + 6\ I_2$

  $9 = 3\ I_1 + 4I_2$ .... (3)

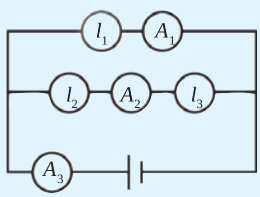
Anda eliminasi persamaan (2) dan (3)

$$16 = 20\ I_1 + 12\ I_2$$
$$27 = 9\ I_1 + 12\ I_2 \quad -$$
$$-11 = 11\ I_1$$
$$I_1 = -1\ A$$

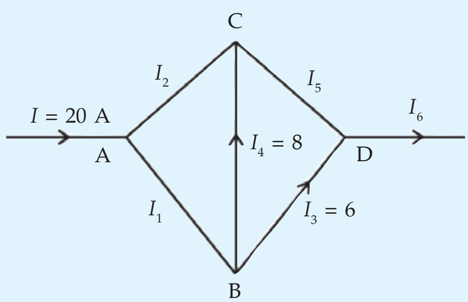
Nilai I_1, Anda masukkan ke persamaan (2)
$8 = 10\ I_1 + 6\ I_2$
$8 = 10\ (-1) + 6\ I_2$
$I_2 = 3$ A
Nilai I_2, Anda masukkan pada persamaan (1)
$I_3 = I_1 + I_2$
$= -1 + 3$
$= 2$
I_1 negatif, berarti I berlawanan dengan arah yang telah ditentukan.

Soal Kompetensi 7.5

1. Perhatikan rangkaian berikut!

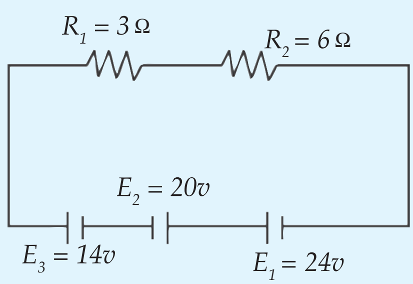


Jika lampu satu (l_1), lampu dua (l_2), dan lampu tiga (l_3) memiliki hambatan yang sama (identik), maka amperemeter manakah yang menunjukkan skala tertinggi dan terendah?

2. 

Perhatikan gambar rangkaian berikut! Tentukan kuat arus yang mengalir pada I_1, I_2, I_5, dan I_6 serta arahnya!

3. Berdasarkan Hukum II Kirchhoff, hitung kuat arus listrik pada rangkaian berikut!



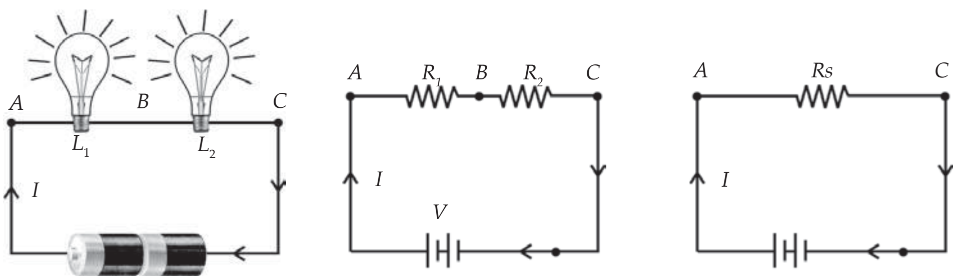
F. Rangkaian Hambatan Listrik

Pada rangkaian listrik, mungkin Anda sering menjumpai beberapa hambatan yang dirangkai secara bersama-sama. Hambatan yang dimaksud di sini bukan hanya resistor, melainkan semua peralatan yang menggunakan listrik, seperti lampu, radio, televisi, dan setrika listrik. Rangkaian hambatan listrik dibedakan menjadi dua, yaitu seri dan paralel.

1. Rangkaian Hambatan Seri

Rangkaian hambatan seri adalah rangkaian yang disusun secara berurutan (segaris). Pada rangkaian hambatan seri yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan, besar kuat arus di setiap titik dalam rangkaian tersebut adalah sama. Jadi, semua hambatan yang terpasang pada rangkaian tersebut dialiri arus listrik yang besarnya sama.

Bila salah satu hambatan ada yang putus, maka arus listrik pada rangkaian tersebut juga putus/tidak mengalir.



(a) Lampu disusun seri *(b) Simbol rangkaian* *(c) Hambatan pengganti*

Gambar 7.20 *Rangkaian hambatan seri*

Pada Gambar 7.20, terlihat dua buah lampu (sebagai hambatan) yang disusun seri. Kuat arus yang mengalir melalui kedua lampu tersebut sama besarnya, sedangkan tegangannya berbeda ($V_{AB} \neq V_{BC}$). Dengan menggunakan hukum Ohm dapat Anda tuliskan secara matematis sebagai berikut.

Jika $V_{AB} = I \times R_1$, $V_{BC} = I \times R_2$, $V_{AC} = V_{AB} + V_{BC}$; maka:

$$V_{AC} = V_{AB} + V_{BC}$$

$$V_{AC} = I \times R_1 + I \times R_2$$

$$V_{AC} = I\,(R_1 + R_2)$$

Jika Anda ganti kedua hambatan yang dirangkai seri dengan sebuah hambatan pengganti (R_s) lihat Gambar 7.20 (c), maka $V_{AC} = I \times R_s$, sehingga Anda dapatkan persamaan sebagai berikut.

$V_{AC} = I(R_1 + R_2)$

$I \times R_s = I(R_1 + R_2)$

$R_s = R_1 + R_2$

Jadi, bentuk umum hambatan pengganti yang dirangkai seri adalah sebagai berikut.

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + ... + R_n \text{ (} n \text{ = banyaknya hambatan)}$$

Hambatan pengganti pada kedua rangkaian ini selalu lebih besar karena merupakan jumlah dari hambatan-hambatan yang dipasang.

Contoh 7.8

Ada tiga buah hambatan yang masing-masing nilainya $6\,\Omega$, $4\,\Omega$, dan $3\,\Omega$ disusun seri. Tentukan hambatan penggantinya!

Diketahui : a. $R_1 = 6\,\Omega$

b. $R_2 = 4\,\Omega$

c. $R_3 = 3\,\Omega$

Ditanyakan: R_s = ... ?

Jawab :

$R_s = R_1 + R_2 + R_3$

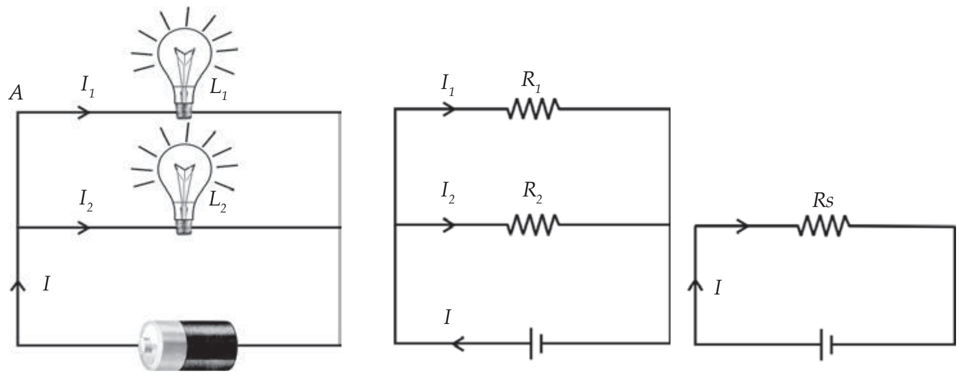
$= 6 + 4 + 3$

$= 13\ \Omega$

Jadi, hambatan penggantinya adalah 13 Ω.

2. Rangkaian Hambatan Paralel

Hambatan paralel adalah rangkaian yang disusun secara berdampingan/berjajar. Jika hambatan yang dirangkai paralel dihubungkan dengan suatu sumber tegangan, maka tegangan pada ujung-ujung tiap hambatan adalah sama. Sesuai dengan Hukum I Kirchoff, jumlah kuat arus yang mengalir pada masing-masing hambatan sama dengan kuat arus yang mengalir pada penghantar utama.



(a) Lampu disusun pararel *(b) Simbol rangkaian* *(c) Hambatan pengganti*

Gambar 7.21 *Rangkaian hambatan paralel*

Pada Gambar 7.21, dua buah lampu (sebagai hambatan) dirangkai paralel. Kuat arus yang mengalir pada lampu 1 (I_1) dan lampu 2 (I_2) besarnya tergantung nilai hambatannya, sedangkan tegangan yang melewati kedua lampu tersebut besarnya sama.

Dengan menggunakan hukum I Kirchoff dan hukum Ohm, maka dapat Anda tuliskan secara matematis sebagai berikut.

Jika $I_1 = \dfrac{V}{R_1}$, $I_2 = \dfrac{V}{R_2}$, dan $I = I_1 + I_2$; maka:

$$I = I_1 + I_2 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

Jika Anda ganti kedua hambatan yang dirangkai paralel dengan sebuah hambatan pengganti (R_p), lihat Gambar 7.21 (c), maka $I = \dfrac{V}{R_p}$, sehingga Anda dapatkan persamaan sebagai berikut.

$$I = V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \Leftrightarrow \frac{V}{R_p} = V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$V\left(\frac{1}{R_p}\right) = V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \Leftrightarrow \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$R_p = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Jadi, bentuk umum hambatan yang dirangkai paralel adalah :

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}, \; (n = \text{jumlah hambatan})$$

$$R_p = \frac{\text{Perkalian}}{\text{Penjumlahan}} = \frac{R_1 \times R_2 \times R_3 \times \ldots \times R_n}{(R_1 \times R_2) + (R_1 \times R_3) + (R_2 \times R_3) + \ldots + (R_{n-1} \times R_n)}$$

Hambatan pengganti pada rangkaian paralel selalu lebih kecil karena merupakan jumlah dari kebalikan hambatan tiap-tiap komponen.

Contoh 7.9

Tiga buah hambatan, masing-masing nilainya $3\ \Omega$, $4\ \Omega$, dan $6\ \Omega$ dirangkai secara paralel. Hitunglah hambatan penggantinya!

Diketahui : a. $R_1 = 3\ \Omega$

b. $R_2 = 4\ \Omega$

c. $R_3 = 6\ \Omega$

Ditanyakan: $R_p = \ldots$?

Jawab :

Cara I :

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{4}{12} + \frac{3}{12} + \frac{2}{12}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{9}{12}$$

$$R_p = \frac{12}{9} = \frac{4}{3}\Omega$$

Cara II:

$$R_p = \frac{R_1 \times R_2 \times R_3}{(R_1 \times R_2) + (R_1 \times R_3) + (R_2 \times R_3)}$$

$$R_p = \frac{3 \times 4 \times 6}{(3 \times 4) + (3 \times 6) + (4 \times 6)}$$

$$R_p = \frac{72}{12 + 18 + 24}$$

$$R_p = \frac{72}{54} = \frac{4}{3}\Omega$$

Kolom Diskusi 7.1

Diskusikan bersama teman Anda!

1. Jika pada rangkaian seri atau paralel ditambahkan lagi komponen listrik, bagaimana jumlah hambatan totalnya?
2. Yusi sedang memperbaiki radionya yang rusak. Ternyata kerusakan terdapat pada resistor yang nilainya 6 Ω, sehingga resistor tersebut harus diganti. Sementara itu, Yusi hanya mempunyai resistor yang nilainya 9 Ω dan 18 Ω. Apa yang harus dilakukan Yusi agar radionya berfungsi kembali!
3. Sebutkan dan jelaskan manfaat rangkaian seri dan paralel!

Kumpulkan hasil diskusi Anda di meja guru!

G. Daya Listrik dalam Kehidupan Sehari-Hari

Bila Anda perhatikan sebuah setrika listrik yang dihubungkan dengan sumber tegangan listrik, maka tidak berapa lama akan menjadi panas. Hal ini terjadi karena adanya usaha untuk memindahkan muatan listrik setiap saat pada rangkaian listrik yang besarnya sama dengan energi listrik yang diubah menjadi energi kalor. Besarnya energi setiap satuan waktu disebut *daya listrik.* Secara matematis daya listrik dapat di tulis sebagai berikut.

$$P = \frac{W}{t}$$

Jika $W = V \times I \times t$, maka persamaan di atas dapat ditulis

$$P = V \times I$$

Menurut Hukum Ohm persamaan daya dapat ditulis

$$P = I^2 \times R \text{ atau } P = \frac{V^2}{R}$$

Keterangan:

P : daya listrik (W)
W : energi listrik (J)
V : tegangan listrik (V)
I : kuat arus listrik (A)
R : hambatan listrik (Ω)

Contoh 7.10

Dalam waktu 5 menit, sebuah lampu pijar menggunakan energi sebesar 9.000 J. Hitunglah daya listrik lampu pijar tersebut!

Diketahui : a. t = 5 menit = 300 s
b. W = 9.000 J

Ditanyakan: P = ... ?

Jawab :

$$P = \frac{W}{t}$$

$$= \frac{9.000}{300}$$

$$= 30 \text{ W}$$

Jadi, daya listrik lampu pijar tersebut adalah 30 W

Pemasangan alat listrik di rumah-rumah dirangkai secara paralel. Hal ini diharapkan agar tegangan yang melalui alat-alat tersebut besarnya sama. Untuk menghitung besar energi listrik yang digunakan pada suatu rumah, PLN memasang alat yang disebut kWh (*kilowatt hours*) meter (meteran listrik).

1 kWh didefinisikan sebagai daya sebesar 1.000 watt yang digunakan selama 1 jam. Jadi, persamaannya dapat ditulis sebagai berikut.

Energi yang digunakan (kWh) = daya (kW) × waktu (jam)

Sedangkan biaya yang harus dibayar adalah sebagai berikut.

Biaya = jumlah energi yang digunakan × biaya per kWh

Biasanya, selain biaya energi yang terpakai, para pelanggan listrik harus membayar biaya beban, materai, dan pajak.

Contoh 7.11

Diketahui harga listrik Rp100,00 per kWh. Sebuah rumah memakai 5 lampu dengan daya masing-masing 60 watt, sebuah kulkas 160 watt, sebuah televisi 80 watt, dan 3 lampu dengan daya 40 watt. Jika semua alat listrik itu menyala rata-rata 12 jam per hari, maka berapa besar biaya listrik dalam sebulan?

Diketahui : 5 lampu × 60 watt = 300 watt
1 kulkas ×160 watt = 160 watt
1 televisi × 80 watt = 80 watt
3 lampu × 40 watt = 120 watt +
Jumlah = 660 watt

Ditanyakan: biaya per bulan= ....?

Jawab :

Pemakaian rata-rata 12 jam, maka dalam 1 bulan (30 hari) pemakaian energi listriknya adalah:

$W = P \times t$
$= 660 \times (12 \times 30)$
$= 660 \times 360$
= 237.600 watt-jam
= 237,6 kWh.

Jadi, biaya yang harus dikeluarkan adalah
237,6 × 100 = Rp23.760,00.

Kolom Ilmuwan

Amati meteran listrik dari beberapa rumah di lingkungan Anda (minimal 5 meteran listrik)! Catat penggunaan energi listrik dalam jangka waktu tiga bulan terakhir, dan tanyakan kepada pemiliknya berapa rekening listrik yang harus ia bayar pada bulan-bulan tersebut!

Selidiki, mengapa biaya rekening listrik tiap rumah berbeda! Kemudian buatlah sebuah tulisan atau artikel atas penyelidikan Anda yang berisi saran agar pemilik rumah bisa membayar rekening listrik lebih murah dari biasanya. Sertakan data dan analisis Anda agar tulisan Anda lebih menarik dan kumpulkan di meja guru!

H. Penghematan Energi Listrik

Hampir setiap bulan, petugas dari PLN datang ke rumah para pelanggan listrik untuk mengetahui besar energi listrik yang digunakan melalui kWh meter (meteran listrik). Makin besar angka yang tercatat dalam kWh meter, berarti makin besar pula energi listrik yang digunakan, sehingga biaya yang harus dibayar juga makin besar.

Bagaimana cara menghemat energi listrik di rumah? Ada beberapa cara yang dapat dilakukan, antara lain, sebagai berikut.

1. Menggunakan Lampu Neon daripada Lampu Pijar

Untuk penerangan di rumah, Anda menggunakan lampu listrik. Lampu yang biasanya Anda gunakan ada dua jenis, yaitu lampu neon dan lampu pijar. Lampu pijar menghasilkan cahaya yang kurang terang. Hal ini disebabkan karena energi listrik pada lampu pijar selain diubah menjadi cahaya juga diubah menjadi energi kalor. Cahaya pada lampu pijar dihasilkan oleh elemen lampu (kawat wolfram/tungsten) yang berpijar karena panas. Suhunya dapat mencapai 5000° C, sehingga bila lampu pijar dinyalakan di dalam kamar, maka kamar akan terasa panas. Jadi, untuk sarana penerangan, lampu pijar banyak membuang energi listrik dalam bentuk panas.

Berbeda dengan lampu pijar. Lampu neon dapat menghasilkan cahaya yang terang, meskipun daya lampu rendah. Hampir seluruh energi listrik pada lampu neon diubah menjadi cahaya dan sedikit yang diubah menjadi energi kalor. Cahaya yang dihasilkan lampu neon terjadi karena atom-atom gas neon yang diisikan di dalam tabung diberi tegangan listrik yang sangat tinggi sehingga atom-atom gas neon tersebut akan berpendar sehingga menghasilkan cahaya. Karena gas-gas neon di dalam tabung bersifat isolator, maka meskipun tegangannya sangat tinggi, tetapi arus yang mengalir sangat kecil, sehingga daya listriknya juga rendah. Jadi, lampu neon lebih hemat daripada lampu pijar.

2. Menggunakan Alat Listrik Berdaya Rendah

Pernahkah Anda menggunakan alat-alat listrik secara bersamaan sehingga melebihi batas daya maksimum yang diberikan PLN di rumah Anda? Apa yang terjadi? Tentu listrik di rumah Anda tidak akan kuat sehingga sakelar otomatis yang terpasang pada CB akan putus.

Bila Anda menggunakan alat-alat listrik yang berdaya tinggi, maka energi yang terserap juga akan besar, tetapi tidak semua energi listrik tersebut dapat dimanfaatkan dengan baik. Ada sebagian energi listrik yang terbuang sia-sia. Sebagai contoh, untuk penerangan kamar jangan menggunakan lampu pijar yang berdaya 100 watt. Anda dapat menggantikannya dengan lampu neon yang berdaya 10 watt untuk memperoleh penerangan yang sama. Untuk mengeringkan rambut, Anda tidak perlu memakai pengering rambut yang berdaya 200 watt, tetapi dapat menggunakan kipas angin yang berdaya 60 watt. Jadi, dengan menggunakan alat-alat listrik yang berdaya rendah Anda dapat menghemat energi listrik.

3. Mengatur Waktu Pemakaian dengan Baik

Ada sebagian masyarakat Anda yang belum dapat menggunakan energi listrik secara efisien. Seperti menggunakan lampu, radio, televisi tetapi malah ditinggal pergi. Hal ini merupakan tindakan pemborosan. Jadi, gunakan peralatan listrik seefisien mungkin. Nyalakan alat-alat listrik bila benar-benar ingin digunakan. Karena menghemat energi listrik berarti menghemat pula biaya pengeluaran kita.

Kolom Diskusi 7.2

Diskusikan dengan teman Anda!

1. Jelaskan bagaimana Anda dapat menghemat energi listrik di rumah Anda!
2. Mengapa Anda harus menghemat energi listrik?
3. Di sejumlah media sering Anda jumpai iklan layanan masyarakat yang menyatakan "Hemat listrik bisa beli sepeda" apa maksudnya? Jelaskan!

Info Kita

Burung Listrik



Awas, tegangan tinggi! Begitulah tulisan yang terpampang di sebuah tiang listrik. Namun, sekawanan burung nekat hinggap di atas kabel tanpa memedulikan peringatan tersebut (apa karena tidak bisa membaca ya?). Mengapa burung-burung tersebut tidak tersetrum?

Listrik memberikan manfaat bagi manusia. Berbagai alat penerangan, alat rumah tangga, dan mesin industri menggunakan listrik. Selain bermanfaat, listrik juga berbahaya bagi manusia. Bahaya listrik di antaranya dapat menyetrum manusia. Peristiwa tersetrum terjadi apabila arus listrik mengalir melewati bagian tubuh makhluk hidup. Hal ini mempunyai dampak yang sangat fatal, hanya dalam hitungan detik makhluk hidup yang tersetrum bisa mati. Makin tinggi tegangan (*voltag e*) listrik, makin cepat listrik membawa kematian. Pada tegangan rendah, dampak tersetrum tidak terlalu parah.

Untuk meminimalisasi bahaya listrik, PLN Jepang menyediakan listrik dengan tegangan rendah, 110 volt. Tegangan ini dipandang relatif aman bagi nyawa manusia, meskipun tetap saja sakit jika tersetrum. Namun, tidak separah tersetrum listrik 220 volt. Lagipula, orang mudah melepaskan diri ketika tersetrum listrik tegangan rendah. Makin tinggi voltase, makin "lengket" orang tersebut kepada sumber arus. PLN Indonesia masih menggunakan listrik dengan tegangan 220 volt. Tegangan ini cukup tinggi dan bisa membunuh manusia. Mengapa di Indonesia tidak menggunakan listrik 110 volt? PLN berdalih, listrik tegangan rendah, biayanya mahal karena membutuhkan kabel yang diameternya lebih besar.

Untuk menghindarkan diri dari bahaya listrik, manusia menciptakan beragam isolator. Isolator merupakan bahan yang tidak menghantarkan listrik. Bahan-bahan seperti plastik, karet, dan kayu bersifat isolator. Karet digunakan untuk membungkus kabel untuk menghindari bahaya listrik. Untuk keamanan, pegawai PLN menggunakan sarung karet dan sepatu plastik ketika memperbaiki instalasi listrik. Kita dianjurkan menggunakan sandal karet saat menyalakan lampu. Sandal karet menghindarkan kontak tubuh kita dengan tanah (*ground*) sehingga mengurangi resiko tersengat listrik. Bahan yang menghantarkan listrik disebut konduktor. Logam dan air merupakan konduktor sehingga bisa mengalirkan listrik.

Kembali ke soal burung yang hinggap di kabel listrik. Pada mulanya orang mengira burung tidak tersengat listrik karena kakinya terbungkus semacam "kulit plastik" yang bersifat isolator. Perkiraan ini terbantah karena tidak sedikit burung yang jatuh ke tanah dalam keadaan gosong setelah hinggap di kabel. Hal ini menunjukkan bahwa mereka bisa tersetrum. Jadi, jelas kaki burung bukan isolator.

Lantas, mengapa mereka tersetrum? Arus listrik akan mengalir karena ada beda potensial di antara kedua ujungnya. Jika seseorang memegang sumber arus (misalnya kabel) dan ia berdiri di atas tanah, maka listrik mengalir dari sumber arus menuju ke tanah (*ground*) melewati tubuhnya. Jika orang tersebut memakai sandal karet, resiko tersetrum berkurang karena arus tidak mengalir.

Burung tidak tersetrum bila kedua kakinya berdiri di atas kabel yang sama. Saat berdiri di atas satu kabel, maka tidak ada beda potensial antara kedua kakinya, sehingga listrik tidak mengalir. Namun, jika kaki burung berdiri di atas kabel yang berbeda, maka burung itu akan tersetrum. Hal ini disebabkan kedua kabel tersebut berbeda tegangannya sehingga arus mengalir dari kabel yang bertegangan tinggi ke kabel yang bertegangan melewati tubuh burung.

(Dikutip seperlunya dari Suplemen Anak *Suara Merdeka*, *"Yunior"*, edisi 213, 2004)

Rangkuman

1. Aliran arus listrik ditimbulkan oleh aliran elektron.
2. Arah aliran arus listrik berlawanan dengan arah aliran elektron.
3. Aliran arus listrik dapat terjadi jika ada beda potensial.
4. Arus listrik mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah, dan elektron mengalir dari potensial rendah ke potensial tinggi.
5. Kuat arus listrik adalah banyaknya muatan yang melalui penampang suatu penghantar setiap satuan waktu.
6. Untuk mengukur kuat arus listrik digunakan amperemeter yang disusun secara seri dengan komponen-komponen listrik.
7. Sumber tegangan listrik adalah segala sesuatu yang dapat menyebabkan terjadinya arus listrik.
8. Sumber tegangan dibedakan menjadi dua, yaitu sumber tegangan primer dan sumber tegangan sekunder.

9. Untuk mengukur beda potensial, digunakan voltmeter yang dirangkai secara paralel dengan komponen yang akan diukur.
10. Persamaan hukum Ohm adalah $V = I \times R$.
11. Persamaan hambatan kawat penghantar adalah $R = \rho \frac{l}{A}$.
12. Alat untuk mengukur hambatan secara langsung adalah ohmmeter.
13. Pada tegangan tinggi, isolator dapat berfungsi sebagai konduktor.
14. Pada rangkaian listrik tak bercabang, kuat arus pada setiap titik adalah sama.
15. Hukum I Kirchoff adalah jumlah kuat arus yang masuk pada setiap titik cabang sama dengan jumlah kuat arus yang keluar dari titik tersebut ($I_{masuk} = I_{keluar}$).
16. Hukum II Kirchhoff menyatakan bahwa jumlah perubahan potensial yang mengelilingi lintasan tertutup pada suatu rangkaian harus sama dengan nol.
17. Pada rangkaian hambatan seri, hambatan penggantinya makin besar, sedangkan pada rangkaian hambatan paralel, hambatan penggantinya makin kecil.
18. Persamaan hambatan seri, $R_s = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

    Hambatan paralel, $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

19. Persamaan daya listrik adalah $P = \frac{W}{t}$ atau $P = V \times I$ atau $P = \frac{V^2}{R}$

    atau $P = I^2 \times R$.
20. Tarif listrik ditentukan oleh banyaknya energi listrik yang digunakan, yang dapat dibaca pada kWh meter pada setiap rumah.

Pelatihan

A. *Pilihlah jawaban yang benar dengan menuliskan huruf a, b, c, d, atau e di dalam buku tugas Anda!*

1. Banyaknya muatan yang mengalir melalui suatu penghantar setiap satuan waktu disebut ....
   a. hambatan
   b. tegangan
   c. kuat arus
   d. beda potensial
   e. daya listrik
2. Muatan listrik 60 C mengalir melalui suatu penghantar selama 2 menit, maka kuat arusnya adalah ....
   a. 0,5 A
   b. 0,36 A
   c. 12 A
   d. 5 A
   e. 55 A
3. Kuat arus 2 A mengalir melalui suatu penghantar selama 20 sekon, maka muatan listriknya adalah ....
   a. 0,4 C
   b. 2,5 C
   c. 0,1 C
   d. 40 C
   e. 4 C
4. Berikut adalah langkah-langkah yang harus dilakukan untuk mengurangi pemborosan energi listrik, *kecuali* ....
   a. menggunakan lampu neon berdaya rendah
   b. menggunakan listrik berdaya besar
   c. mematikan lampu di siang hari
   d. mengurangi waktu penggunaan alat listrik
   e. mematikan televisi saat ditinggal pergi
5. Pada sebuah rumah terdapat 2 lampu, masing-masing 25 W. Jika menyala selama 5 jam sehari, televisi 50 W menyala 5 jam sehari dan harga per kWh Rp200,00, maka biaya yang harus dibayar adalah ....
   a. Rp3.000,00
   b. Rp4.200,00
   c. Rp6.200,00
   d. Rp15.000,00
   e. Rp25.000,00
6. Hambatan sebuah penghantar 60 Ω dan arus yang mengalir 0,5 A. Beda potensialnya adalah ....
   a. 120 V
   b. 30 V
   c. $\frac{1}{120}$ V
   d. $\frac{1}{30}$ V
   e. 60 V

7. Setrika listrik mempunyai daya 200 W. Bila setrika dipakai 1 jam tiap hari selama 30 hari, maka energi listrik yang digunakan sebesar ....
   a. 6 kWh
   b. 360 kWh
   c. 130 kWh
   d. 6.000 kWh
   e. 9.000 kWh
8. Bila voltmeter menunjukkan 50 volt dan amperemeter menunjukkan 2,5 A, maka besarnya hambatan (R) adalah ....
   a. 125 Ω
   b. 0,5 Ω
   c. 0,05 Ω
   d. 20 Ω
   e. 12,5 Ω
9. Arus maksimum yang melalui sekring adalah 3,4 A. Banyaknya lampu yang dapat dipasang paralel dengan tegangan 220 V/110 W agar sekring tidak putus adalah ....
   a. 8 buah
   b. 7 buah
   c. 6 buah
   d. 5 buah
   e. 4 buah
10. Kawat A dan B terbuat dari bahan yang sama dan panjangnya sama. Bila luas penampang A dua kali luas penampang B, maka ....
    a. hambatan A setengah kali hambatan B
    b. hambatan A seperempat kali hambatan B
    c. hambatan B setengah kali hambatan A
    d. hambatan B seperempat kali hambatan A
    e. hambatan B sama dengan hambatan A

B. *Kerjakan soal-soal berikut dengan benar!*

1. Apa yang Anda ketahui tentang hukum Ohm? Jelaskan!
2. Apa yang dimaksud dengan tegangan DC dan sumber tegangan AC!
3. Mengapa tegangan listrik pada rumah yang jauh dari gardu induk listrik mengalami penurunan? Jelaskan!
4. Sebuah lampu 15 W dan 5 W masing-masing dinyalakan selama 5 dan 12 jam tiap hari. Tentukan energi listrik yang diperlukan oleh kedua lampu tersebut selama 1 bulan! Jika PLN menetapkan tarif Rp100,00/kWh, maka berapa biaya yang harus dibayarkan ke PLN?
5. Kawat penghantar yang panjangnya 8 m mempunyai hambatan 100 Ω. Bila kawat itu dilipat menjadi empat sama panjang dan dipilin menjadi satu, maka hitunglah hambatannya sekarang!

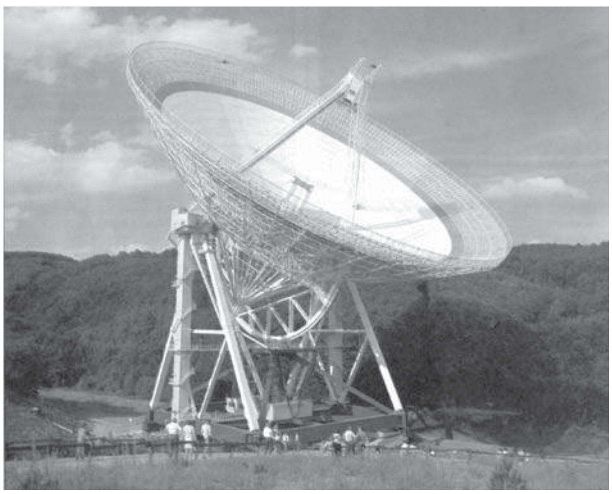


Bab VIII

Gelombang Elektromagnetik

Tujuan Pembelajaran

- *Anda dapat mendiskripsikan gelombang elektromagnetik dan menjelaskan aplikasi gelombang elektromagnetik pada kehidupan sehari-hari*



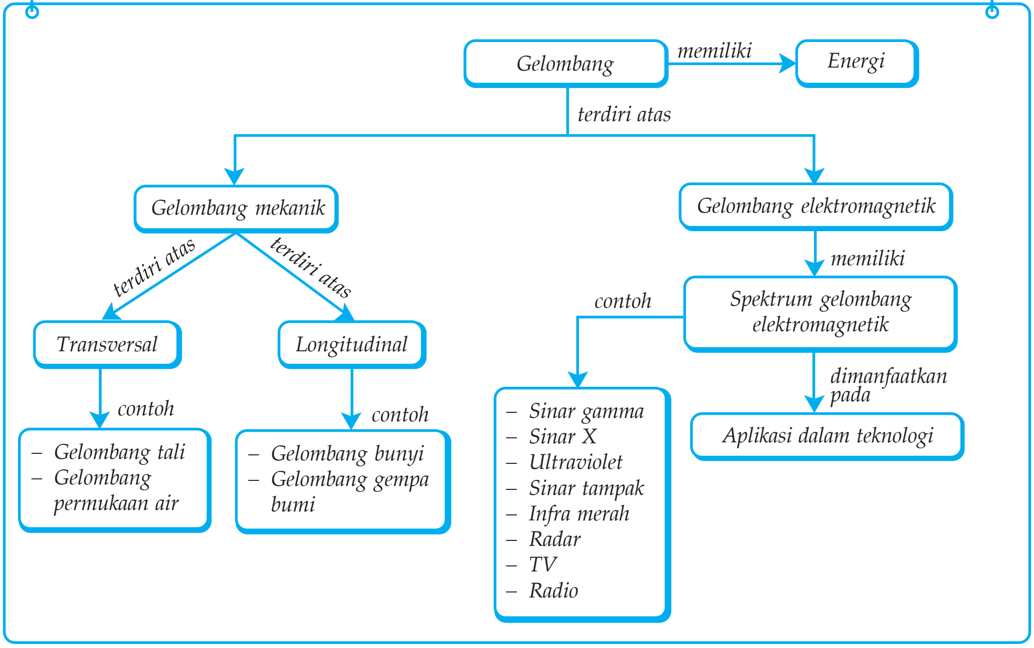
Sumber: Teleskop

Acara TV atau radio yang Anda nikmati berasal dari stasiun pemancar. Gelombang elektromagnetik seperti sinyal radio dan TV, dapat dikirim dan diterima melalui antena. Gambar di atas merupakan sebuah Antena radio di bukit Eifel, Jerman, yang dapat dikemudikan. Antena ini berfungsi mengirim sinyal dan menerima sinyal dari luar angkasa.

Kata Kunci

- Elektromagnetik
- Gelombang
- Sinar Gamma
- Infra Merah
- Gelombang Radio
- Hipotesis Maxwell
- Ultraviolet
- Spektrum

Peta Konsep



Tsunami yang terjadi di Aceh merupakan hasil dari gerakan lempeng bumi. Gerakan ini menyebabkan getaran yang energinya merambat ke permukaan air, yang menyebabkan gelombang sangat besar. Gelombang ini disebut gelombang mekanik. Gelombang mekanik merupakan gelombang yang memerlukan medium untuk perambatannya. Selain gelombang mekanik, terdapat gelombang yang dalam perambatannya tidak memerlukan medium, yaitu gelombang elektromagnetik. Cahaya merupakan contoh gelombang elektromagnetik.

Untuk mengawali pembahasan gelombang elektromagnetik, terlebih dahulu Anda harus tahu tentang Hipotesis Maxwell. Hipotesis ini yang melahirkan/memunculkan gagasan baru tentang gelombang elektromagnetik. Keberhasilan Maxwell dalam menemukan teori gelombang elektromagnetik membuka cakrawala baru di dunia komunikasi.

A. Hipotesis Maxwell

Gejala-gejala kelistrikan dan kemagnetan erat hubungannya satu sama lain. hal ini tampak pada gejala-gejala sebagai berikut.

1. Muatan medan listrik dapat menghasilkan medan listrik disekitarnya, yang besarnya diperlihatkan oleh hukum Coulumb.
2. Arus listrik atau muatan yang mengalir dapat menghasilkan medan magnet disekitarnya yang besar dan arahnya ditunjukkan oleh hukum Bio-Savart atau hukum Ampere.

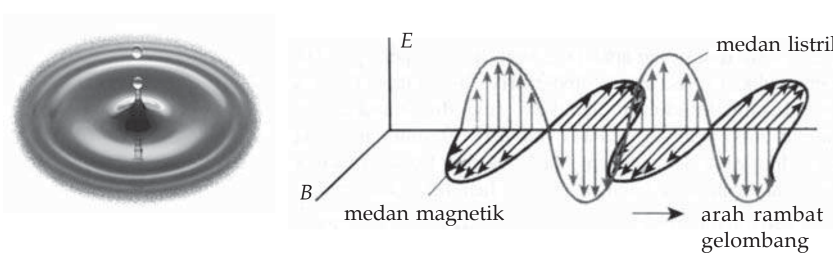
3. Perubahan medan magnetik dapat menimbulkan GGL induksi yang dapat menghasilkan medan listrik dengan aturan yang diberikan oleh hukum induksi Faraday.

Pada ketiga teori ini terdapat hubungan antara listrik dengan medan magnet. Muatan listrik yang diam menghasilkan medan magnet. Muatan listrik yang bergerak dapat menghasilkan medan magnetik. Perubahan medan magnetik akan menghasilkan medan listrik.

Dinamo yang digerakkan dapat menghasilkan aliran listrik yang digunakan untuk menyalakan lampu. Dinamo tersusun atas magnet dan lilitan kawat di sekelilingnya. Ketika magnet bergerak di sekitar lilitan, maka menyebabkan arus mengalir. Coba Anda amati jarum kompas yang didekatkan pada aliran listrik, jarum kompas akan menyimpang dari kedudukan semula. Hal ini berarti jarum kompas mendapat gaya/tarikan magnet dari kabel yang berarus listrik.

Maxwell mengemukakan sebuah hipotesis bahwa *perubahan medan magnet pada dinamo dapat menimbulkan medan listrik dan sebaliknya perubahan medan listrik dapat menimbulkan medan magnet*. Adapun percobaan yang digunakan Maxwell dalam hipotesanya adalah dua bolam isolator yang diikat pada ujung pegas. Kedua bolam diberi muatan listrik berbeda, yaitu muatan positif dan negatif. Perubahan listrik yang diberikan pada pegas terhadap waktu akan menghasilkan medan magnet yang berbeda pula.

Proses berantai dari perubahan medan listrik dan medan magnet yang berbentuk gelombang menjalar ke segala arah. Gelombang ini disebut gelombang elektromagnetik. Gelombang ini dapat berupa cahaya gelombang radio, sinar-X, sinar gamma atau yang lainnya. Hal ini dapat diilustrasikan sebagai bak air yang tenang diberi sentuhan sedikit, maka terjadi gelombang menyebar ke segala arah. Gelombang elektromagnetik tersusun atas perambatan medan listrik E dan medan magnet B yang saling tegak lurus satu sama lain. Perhatikan gambar berikut:



Gambar 8.1 *(a) Gelombang air, (b) Gelombang elektromagnetik*

Menurut perhitungan Maxwell, kecepatan perambatan gelombang elektromagnetik hanya bergantung pada dua besaran, yaitu permitivitas listrik (ε_o) dan permeabilitas magnet (μ_o). Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_o \times \mu_o}}$$

Anda ketahui bahwa, nilai ε_o sebesar $8,85 \times 10^{-12}$ C^2/Nm^2 dan nilai μ_o sebesar 12,60 x 10^{-6} wb/Am. Jika kedua nilai ini Anda masukkan ke persamaan di atas, maka diperoleh nilai kecepatan gelombang elektromagnetik sebesar 3×10^{18} m/s. Besar kecepatan ini sama dengan besar kecepatan perambatan cahaya di ruang hampa.

Kolom Diskusi

Diskusikan dengan teman sebangku Anda hal-hal berikut!

1. Apa yangdimaksud dengan gelombang elektromagnetik?
2. Sebutkan contoh-contoh gelombang elektromagnetik yang ada di sekitar Anda!
3. Buktikan bahwa satuan cepat rambat gelombang elektromagnetik adalah meter per sekon (ms^{-1})!

Buatlah kesimpulan dari diskusi tersebut dan kumpulkan di meja guru!

B. Sifat dan Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Sebagaimana gelombang mekanik, gelombang elektromagnetik juga memiliki sifat yang kurang lebih hampir sama. Adapun sifat dari gelombang elektromagnetik, antara lain, dapat merambat di ruang hampa, merupakan gelombang transversal, mengalami pemantulan (refleksi), mengalami pembiasan(refraksi), mengalami interferensi, mengalami lenturan (difraksi), dan arah rambatannya tidak ditentukan oleh medan listrik maupun medan magnet.

Cahaya, gelombang radio, sinar-X, dan sinar gamma adalah contoh dari gelombang elektromagnetik. Berbagai jenis gelombang elektromagnetik tersebut hanya berbeda dalam frekuensi dan panjang gelombangnya. Hubungan kecepatan perambatan gelombang, frekuensi, dan panjang gelombang dinyatakan sebagai berikut.

$$c = f \times \lambda$$

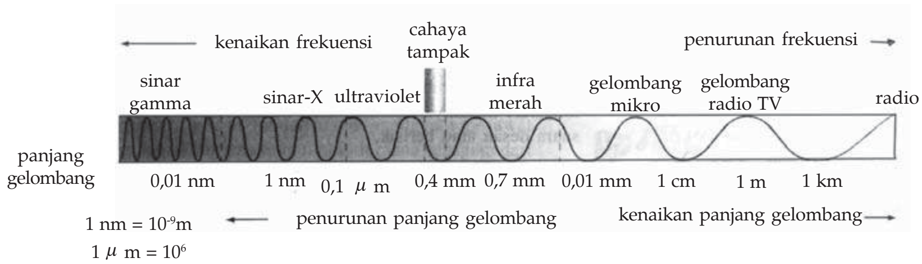
Keterangan:

c : kecepatan perambatan gelombang (m/s)

f : frekuensi gelombang (Hz)

λ : panjang gelombang (m)

Perbedaan interval/jarak panjang gelombang dan frekuensi gelombang yang disusun dalam bentuk tabel panjang gelombang dan frekuensi secara berurutan disebut spektrum gelombang elektromagnetik. Gelombang radio memiliki frekuensi terendah, sedangkan sinar gamma memiliki frekuensi tertinggi. Perhatikan Gambar 8.2 dan Tabel 8.1 berikut!



Gambar 8.2 Spektrum gelombang elektromagnetik.

Tabel 8.1 Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Panjang Gelombang	Frekuensi dalam Cycle/Det	Jenis Gelombang		Sumber
10^{-15}m	10^{23}	Sinar γ		Sinar kosmik perubahan-perubahan radioaktif
10^{-14}m	10^{22}		Sinar X	
10^{-13}m	10^{21}			
10^{-12}m	10^{20}			Tumbukan elektron-elektron pada logam-logam bermassa tinggi
10^{-11}m	10^{19}			
1A = 10^{-10}m	10^{18}	Sinar γ		
10^{-9}m	10^{17}			
10^{-8}m	10^{16}	Sinar ulatraviolet		Lampu busur, bunga api listrik, tabung lucutan, lampu, air raksa, dan sinar matahari
10^{-7}m	10^{15}			
10^{-6}m	10^{14}	Cahaya yang tampak		
10^{-5}m	10^{13}	Sinar inframerah sinar-sinar panas		Atom-atom yang bergetar
10^{-4}m	10^{12}			
10^{-3}m	10^{11}			Radar gelombang radio dan rangkaian elektronik
10^{-2}m	10^{10}			
10^{-1}m	10^{9}		Frekuensi sangat tinggi	
1 meter =1m	10^{8}			Telivisi
10^{1}m	10^{7}		Frekuensi tinggi	Radio: Gelombang pendek
10^{2}m	10^{6}			
10^{3}m	10^{5}		Frekuensi menengah	Radio: Gelombang panjang
10^{4}m	10^{4}			
10^{5}m	10^{3}		Gelombang listrik yang sangat panjang	
10^{6}m	10^{2}			Kumparan yang berputar dalam medan magnet
10^{7}m	10^{1}			
10^{8}m	1			

Sumber: Fisika, Kane & Sternheim, 1991.

Contoh 8.1

1. Sebuah pemancar radio bekerja pada daerah frekuensi 600 kHz dan 90 MHz. Berapa panjang gelombang siaran yang diterima pesawat radio?

   Diketahui : a. f_1 = 600 kHz = 6×10^5 Hz
   b. f_2 = 90 MHz = 9×10^7 Hz

   Ditanyakan : a. λ_1 = ...?
   b. λ_2 = ...?

   Jawab :

   a. $\lambda_1 = \dfrac{c}{f_1} = \dfrac{3 \times 10^8}{6 \times 10^5} = 500$ m

   b. $\lambda_2 = \dfrac{c}{f_2} = \dfrac{3 \times 10^8}{9 \times 10^7} = 3{,}3$ m

2. Sebuah gelombang elektromagnetik merambat dalam ruang hampa dengan kecepatan 3×10^8 m/s. Jika panjang gelombangnya 30 m, maka tentukan frekuensi gelombang tersebut?

   Diketahui : a. $c = 3 \times 10^8$ m/s
   b. λ = 30 m/s

   Ditanyakan : f = ... ?

   Jawab :

   $$f = \frac{c}{\lambda}$$

   $$= \frac{3 \times 10^8}{30}$$

   $$= 10^7 \text{ Hz}$$

Soal Kompetensi 8.1

1. Bagaimana sifat dan spektrum gelombang elektromagnetik?
2. Radio Q memiliki frekuensi 92,3 mHz, tentukan panjang gelombangnya?
3. Sebutkan perbedaan antara gelombang elektromagnetik dengan gelombang mekanik!

Tokoh

James Clerk Maxwell
(1831 – 1879)



Sumber: Jendela Iptek, Cahaya

James Clerk Maxwell dianggap ilmuwan terbesar antara zaman Isaac Newton dengan Albert Einstien. Maxwell dilahirkan di Edinburg, Skotlandia. Pada tahun 1856, ia menerima posisi sebagai professor alam di sebuah perguruan tinggi di Aberdeen.

Maxwell mempelajari cincin Saturnus dari tahun 1856 -1859. Ia menyatakan bahwa cincin tersebut terdiri atas partikel-partikel padat yang sangat banyak. Kalkulasi-kalkulasi tentang partikel kecil dalam cincin Saturnus tersebut memberinya keterampilan untuk menangani gerakan acak molekul dalam gas. Dialah yang menggabungkan teori atom dengan teori kinetik panas untuk menghasilkan teori kinetik gas.

Setelah menjabat sebagai profesor di King's College, London, selama lima tahun, Maxwell pensiun dan kembali ditempat asalnya untuk bereksperimen dengan gas dan berupaya memecahkan masalah elektromagnetik. Maxwell menerbitkan teori-teori dan temuan-temuan awalnya dalam *Perception of Colour* pada tahun 1860, dan *Theory of Heat* pada tahun 1871. Dalam *Treatise on Electricity and Magnetsm* (1873), Maxwell mengembangkan empat persamaan ringkas yang menunjukkan bagaimana listrik dan magnetik menjadi satu sebagai elektromagnetik. Semua hukum listrik dan magnetik yang sebelumnya dikenal, bisa di ambil dari empat persamaan tersebut. Persamaan-persamaan Maxwelllah yang meramalkan keberadaan *spektrum elektromagnetik*. Spektrum elektromagnetik menyatakan bahwa cahaya tampak hanyalah bagian kecil darinya.

Teori ini mengilhami Heinrich Hertz menemukan gelombang radio. Persamaan-persamaan Maxwell di anggap sebagai perkembangan terpenting dalam fisika tahun 1800-an karena menunjukkan bahwa cahaya terdiri atas gelombang elektromagnetik. Maxwell meninggal pada usia 49 tahun, dan tidak mendapatkan penghormatan publik atas karyanya. Namun, para ilmuwan mengakui kecerdasan dan sumbangsih Maxwell di dunia ilmu pengetahuan.

(*Dikutip seperlunya dari*, 100 Ilmuwan, *John Hudson Tiner*,2005)

C. Karakteristik dan Aplikasi Gelombang Elektromagnetik

Spektrum gelombang elektromagnetik tampak memiliki warna yang berbeda-beda. Warna ini disebabkan perbedaan frekuensi gelombang. Berdasarkan frekuensi gelombang inilah dapat diketahui sifat/karakteristik gelombang. Rentang frekuensi tertinggi (sinar gamma) hingga frekuensi rendah (radio) serta aplikasi setiap spektrum gelombang elektronik adalah sebagai berikut.

1. Gelombang Sinar Gamma

Sinar gamma merupakan gelombang elektromagnetik yang mempunyai frekuensi tertinggi dalam spektrum gelombang elektromagnetik, yaitu antara 10^{20}Hz sampai 10^{25} Hz. Panjang gelombangnya berkisar antara 10–5 nm sampai 0,1 nm. Sinar gamma berasal dari radioaktivitas nuklir atau atom-atom yang tidak stabil dalam waktu reaksi inti. Sinar gamma memiliki daya tembus yang sangat kuat, sehingga mampu menembus logam yang memiliki ketebalan beberapa sentimeter. Jika diserap pada jaringan hidup, sinar gamma akan menyebabkan efek yang serius seperti mandul dan kanker.



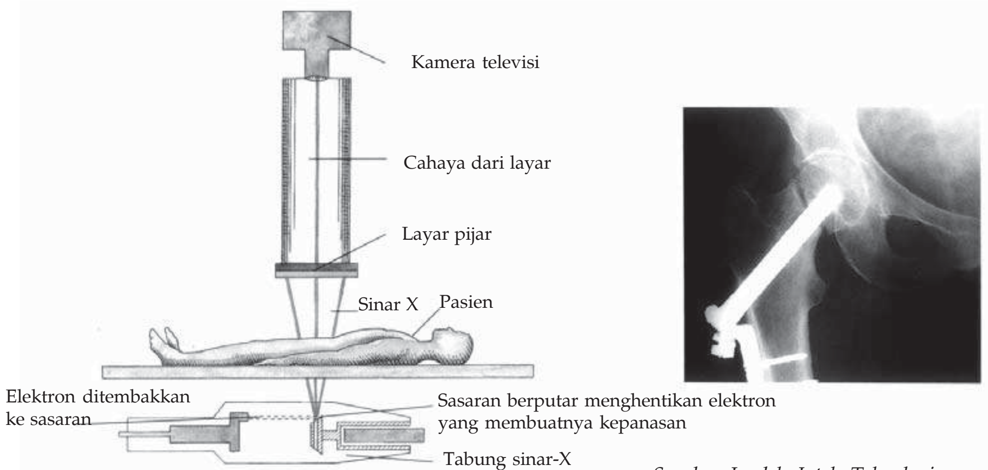
Sumber: Tempo 27 Des–2 Jan 2005

Gambar 8.3 *Bom atom memancarkan sinar gamma.*

2. Sinar-X

Sinar-X mempunyai frekuensi antara 10^{16}Hz sampai 10^{20} Hz. Panjang gelombangnya 10^{-11} sampai 10^{-8} m. Sinar –X ditemukan oleh Wilhelm Conrad Rontgen pada tahun 1895. Untuk menghormatinya sinar-X juga disebut sinar rontgen. Sinar-X dihasilkan dari elektron-elektron yang terletak di bagian dalam kulit elektron atom atau dapat dihasilkan dari elektron dengan kecepatan tinggi yang menumbuk logam. Sinar-X banyak dimanfaatkan dalam bidang kedokteran seperti untuk memotret kedudukan tulang, dan bidang industri dimanfaatkan untuk menganalisis struktur kristal.

Sinar-X mempunyai daya tembus yang sangat kuat. Sinar ini mampu menembus zat padat seperti kayu, kertas, dan daging manusia. Pemeriksaan anggota tubuh dengan sinar-X tidak boleh terlalu lama, karena membahayakan.



Sumber: Jendela Iptek, Teknologi

Gambar 8.4 *(a) Cara kerja sinar-X dan (b) Sinar-X digunakan untuk memotret tulang.*

3. Sinar Ultraviolet

Sinar ultraviolet merupakan gelombang elektromagnetik yang mempunyai frekuensi antara 10^{15} Hz sampai dengan 10^{16} Hz. Panjang gelombangnya antara 10 nm sampai 100 nm. Sinar ultraviolet dihasilkan dari atom dan molekul dalam nyala listrik. Sinar ini juga dapat dihasilkan dari reaksi sinar matahari.

Sinar ultraviolet dari matahari dalam kadar tertentu dapat merangsang badan Anda menghasilkan vitamin D . Secara khusus, sinar ultra violet juga dapat diaplikasikan untuk membunuh kuman. Lampu yang menghasilkan sinar seperti itu digunakan dalam perawatan medis. Sinar ultraviolet juga dimanfaatkan dalam bidang perbankan, yaitu untuk memeriksa apakah tanda tangan Anda di slip penarikan uang sama dengan tanda tangan dalam buku tabungan.

4. Cahaya atau Sinar Tampak

Cahaya atau sinar tampak mempunyai frekuensi sekitar 10^{15} Hz. Panjang gelombangnya antara 400 nm sampai 800 nm. Mata manusia sangat peka terhadap radiasi sinar tersebut, sehingga cahaya atau sinar tampak sangat membantu penglihatan manusia.



Sumber: Fotomedia

Gambar 8.5 Pelangi merupakan cahaya tampak.

Panjang gelombang sinar tampak yang terpendek dalam spektrum bersesuaian dengan cahaya violet (ungu) dan yang terpanjang bersesuaian dengan cahaya merah. Semua warna pelangi terletak di antara kedua batas tersebut. Perhatikan tabel berikut!

Tabel 8.2 Spektrum, Panjang, dan Frekuensi Gelombang

Spektrum Cahaya	Panjang Gelombang	Frekuensi ($\times 10^{14}$Hz)
Merah	6.200 – 7.800	4,82 – 4,60
Jingga	5.900 – 6.200	5,03 – 4,82
Kuning	5.700 – 5.970	5,20 – 5,03
Hijau	4.920 – 5.770	6,10 – 5,20
Biru	4.550 – 4.950	6,59 – 6,10
Ungu	3.900 – 4.550	7,69 – 6,59

Salah satu aplikasi dari sinar tampak adalah penggunaan sinar laser dalam serat optik pada bidang telekomunikasi.

5. Sinar Infra Merah

Sinar infra merah mempunyai frekuensi antara 10^{11} Hz sampai 10^{14} Hz. Panjang gelombangnya lebih panjang/besar dari pada sinar tampak. Frekuensi gelombang ini dihasilkan oleh getaran-getaran elektron pada suatu atom atau bahan yang dapat memancarkan gelombang elektromagnetik pada frekuensi khas.



Sumber: Foto Haryana

Gambar 8.6 Remote kontrol menggunakan sinar infra merah.

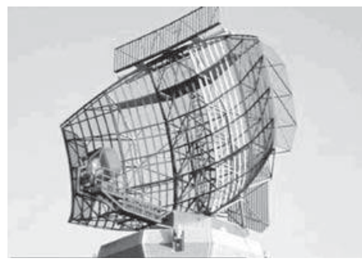
Di bidang kedokteran, radiasi inframerah diaplikasikan sebagai terapi medis seperti penyembuhan penyakit encok dan terapi saraf. Pada bidang militer, dibuat teleskop inframerah yang digunakan melihat di tempat yang gelap

atau berkabut. Hal ini mungkin karena sinar infra merah tidak banyak dihamburkan oleh partikel udara. Selain itu, sinar infra merah dibidang militer dimanfaatkan satelit untuk memotret permukaan bumi meskipun terhalang oleh kabut atau awan. Di bidang elektronika, infra merah dimanfaatkan pada remote kontrol peralatan elektronik seperti TV dan VCD. Unit kontrol berkomunikasi dengan peralatan elektronik melalui reaksi yang dihasilkan oleh dioda pancar cahaya (LED).

6. Radar atau Gelombang Mikro

Gelombang mikro merupakan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi sekitar 10^{10} Hz. Panjang gelombangnya kira-kira 3 mm. Gelombang mikro ini dimanfaatkan pada pesawat radar (*radio detection and ranging*).

Gelombang radar diaplikasikan untuk mendeteksi suatu objek, memandu pendaratan pesawat terbang, membantu pengamatan di kapal laut dan pesawat terbang pada malam hari atau cuaca kabut, serta untuk menentukan arah dan posisi yang tepat. Misalnya, jika radar memancarkan gelombang mikro mengenai benda, maka gelombang mikro akan memantul kembali ke radar. Selang waktu antara pemancaran dan penerimaan radar adalah Δt, kecepatan perambatan radar c, maka jarak sasaran dari pemancar radar dapat ditentukan dengan persamaan berikut.



Sumber: Encarta Encyclopedia

Gambar 8.7 *Radar*

$$s = c \times \frac{\Delta t}{2}$$

Keterangan:

s : jarak sasaran dari pemancar radar (m)

c : kecepatan perambatan radar (m/s)

Δt : selang waktu dipancarkan dan diterima radar(s)

Contoh 8.2

Melalui antena sebuah radar pesawat terbang, dipancarkan pulsa gelombang radar. Pulsa gelombang yang pertama dipancarkan, diterima kembali oleh antena pesawat setelah 2×10^{-4} s. Berapa jarak objek dari pesawat?

Diketahui : a. $\Delta t = 2 \times 10^{-4}$ s

b. $c = 3 \,.\, 10^{8}$ m/s

Ditanyakan : s = ... ?

$$s = c \times \frac{\Delta t}{2}$$

$$= (3 \times 10^8)\frac{2 \times 10^{-4}}{2}$$

$$= 30 \text{ km}$$

7. Gelombang Radio dan Televisi

Gelombang radio mempunyai frekuensi antara 10^4 Hz sampai 10^9 Hz. Gelombang televisi frekuensinya sedikit lebih tinggi dari gelombang radio. Gelombang ini diaplikasikan sebagai alat komunikasi, sebagai pembawa informasi dari satu tempat ke tempat lain.

a. Gelombang Radio AM

Informasi yang dipancarkan oleh antena yang berupa suara dibawa gelombang radio berupa perubahan amplitudo yang disebut amplitudo modulasi (AM). Gelombang AM mempunyai frekuensi antara 10^4 Hz sampai 10^7 Hz. Gelombang tersebut memiliki sifat mudah dipantulkan oleh lapisan ionosfer bumi, sehingga mampu mencapai jangkauan yang sangat jauh dari stasiun pemancar radio. Kelemahan gelombang radio AM adalah sering terganggu oleh gejala kelistrikan di udara, sehingga gelombang yang ditangkap pesawat radio kadang terdengar berisik.

b. Gelombang Radio FM

Gelombang radio FM dan mempunyai frekuensi sekitar 10^8 Hz. Radio FM menggunakan gelombang ini sebagai pembawa berita/informasi. Informasi dibawa dengan cara frekuensi modulasi (FM).

Pemancar FM lebih jernih jika dibandingkan dengan pemancar AM. Hal ini dikarenakan gelombang radio FM tidak terpengaruh oleh gejala kelistrikan di udara. Gelombang radio FM tidak dapat dipantulkan oleh ionosfer bumi, sehingga tidak dapat menjangkau tempat-tempat yang jauh di permukaan bumi. Supaya jangkauan gelombang jauh diperlukan stasiun penghubung (relai), yang ditempatkan di satelit atau di permukaan bumi.

c. Gelombang Televisi

Gelombang televisi lebih tinggi frekuensinya dari gelombang radio FM. Sebagaimana gelombang radio FM, gelombang televisi membawa informasi gambar dan suara. Gelombang ini tidak dipantulkan oleh ionosfer bumi, sehingga diperlukan penghubung dengan satelit atau di permukaan bumi untuk tempat yang sangat jauh.

Soal Kompetensi 8.2

1. Apa dan bagaimana spektrum dari gelombang elektromagnetik?
2. Sebuah pemancar radio bekerja pada daerah frekuensi 60 kHz dan 9,0 MHz. Pada panjang gelombang berapakah siaran tersebut dapat ditangkap dengan pesawat radio?

Kolom Ilmuwan

Buatlah Kliping tentang pemanfaatan gelombang elektromagnetik dari majalah, surat kabar harian, atau artikel di internet. Buatlah sebuah kesimpulan di akhir kliping tersebut. Kumpulkan kliping Anda di meja guru!

Info Kita

Makin Murah dengan Komunikasi Optik



Sumber: Encarta Encyclopedia

Serat optik sangat penting dalam bidang komunikasi. Karena bisa menjadi alternatif selain kabel dan kawat tembaga. Kini di berbagai tempat. Serat kaca tipis menggantikan kabel tembaga yang besar dan mahal untuk membawa ribuan sambungan telepon secara simultan. Di sebagian besar pesawat udara. Sinyal kendali diberikan pilot kepada permukaan kendali dengan peralatan yang menggunakan serat optik. Sinyal berjalan dalam modulasi sinar laser. Tidak seperti listrik, cahaya tidak dipengaruhi temperatur dan perubahan medan magnet, sehingga sinyal tersebut lebih jelas di terima. Selain itu, sangat kecil kemungkinannya untuk ditangkap oleh pihak mata-mata/musuh. Serat optik pertama kali diteliti pada tahun 1966.

(*Dikutip seperlunya dari* Agus Tanggoro, Bambang Ruwanto, 2004)

Rangkuman

1. Hipotesis Maxwell adalah perubahan medan magnet pada dinamo dapat menimbulkan medan listrik dan sebaliknya perubahan medan listrik dapat menimbulkan medan magnet.
2. Cepat rambat gelombang elektromagnetik sama dengan cepat rambat cahaya di ruang hamba yang besarnya 3×10^8 m/s.
3. Kelebihan gelombang elektromagnetik adalah dapat merambat di ruang hampa, merupakan gelombang trasversal, mengalami pemantulan (refleksi), mengalami pembiasan (refraksi), mengalami interferensi, mengalami lenturan (difraksi), dan arah rambatannya tidak ditentukan oleh medan listrik maupun medan magnet.
4. Hubungan kecepatan perambatan gelombang, frekuensi, dan panjang gelombang adalah $c = f \times \lambda$.
5. Urutan spektrum gelombang elektromagnetik dari yang berfrekruensi terkecil sampai yang terbesar adalah gelombang radio, gelombang televisi, gelombang radar/mikro, sinar infra merah, cahaya tampak, sinar ultraviolet, sinar-X, dan sinar gamma.

P e l a t i h a n

A. *Pilihlah jawaban yang benar dengan menuliskan huruf a, b, c, d, dan e di dalam buku tugas Anda!*

1. Perubahan medan listrik menghasilkan medan magnet dan perubahan medan magnet menghasilkan medan listrik, pernyataan ini dikemukakan oleh ....
   a. James Clerk Maxwell
   b. Hertz
   c. Zeeman
   d. Stark
   e. Planck
2. Gelombang elektromagnetik terdiri atas ... yang saling tegak lurus.
   a. gelombang transversal dan medan magnet
   b. gelombang medan magnet dan gelombang medan listrik
   c. gelombang longitudinal dan transversal
   d. gelombang transversal dan medan listrik
   e. gelombang listrik dan longitudinal

3. Satuan dari emisivitas listrik (ε_o) adalah $\frac{c^2}{Nm^2}$. Satuan μ_o adalah ....
   a. NA
   b. NA^{-1}
   c. NA^{-2}
   d. $NA^{-2}A$
   e. N^2A^{-2}
4. Sinar yang tidak termasuk gelombang elektromagnetik adalah ....
   a. sinar-X
   b. sinar gamma
   c. sinar beta
   d. sinar infra merah
   e. sinar ultraviolet
5. Spektrum cahaya atau sinar tampak yang mempunyai frekuensi terkecil adalah ....
   a. ungu
   b. biru
   c. hijau
   d. kuning
   e. merah
6. Hubungan kecepatan gelombang, frekuensi, dan panjang gelombang yang benar adalah ....
   a. $\lambda = \frac{f}{c}$
   b. $f = \frac{\lambda}{c}$
   c. $c = \frac{\lambda}{f}$
   d. $c = f \times \lambda$
   e. $c = \frac{f}{\lambda}$
7. Panjang gelombang radio yang memiliki frekuensinya 10^5 Hz adalah ....
   a. 36 m
   b. 3.600 m
   c. 300 m
   d. 3.000 m
   e. 3 m

8. Jika panjang gelombang televisi adalah 6 meter, maka frekuensinya adalah ....
   a. 6×10^5 Hz
   b. 6×10^6 Hz
   c. 5×10^5 Hz
   d. 5×10^6 Hz
   e. 5×10^{-5} Hz
9. Frekuensi sinar ultraviolet adalah ....
   a. 10^{20} Hz
   b. 10^{18} Hz
   c. 10^{15} Hz
   d. 10^{11} Hz
   e. 10^{14} Hz
10. Panjang gelombang cahaya tampak yang paling panjang adalah ....
   a. jingga
   b. merah
   c. hijau
   d. kuning
   e. ungu

B. Kerjakan soal-soal berikut dengan benar!

1. Jelaskan pengertian dan sifat gelombang elektromagnetik!
2. Sebuah pesawat yang dilengkapi radar mendeteksi adanya pesawat lain yang terbang sejajar. Waktu yang diperlukan gelombang radar bolak-balik adalah 10^{-6} sekon. Berapa jarak kedua pesawat tersebut!
3. Sebutkan keunggulan dan kelemahan masing-masing gelombang radio AM dan FM!
4. Dua buah pesawat berjarak 5 km. Salah satu pesawat mengeluarkan gelombang radar. Setelah berapa sekon pesawat menerima gelombang pantul radar?
5. Sebuah pemancar FM bekerja pada frekuensi 120 MHz. Berapakah panjang gelombang yang dipancarkan oleh pemancar radio tersebut?



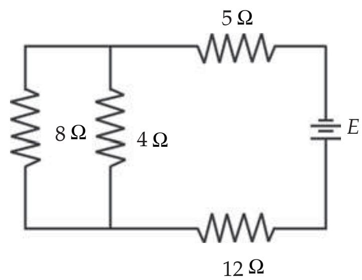
Pelatihan Ulangan Semester Genap

A. *Pilihlah jawaban yang benar dengan menuliskan huruf a, b, c, d, atau e di dalam buku tugas Anda!*

1. Roni mempunyai titik dekat 50 cm dan titik jauh di tak terhingga. Agar dapat membaca dengan jelas pada jarak 30 cm, maka kacamata yang harus dipakai Roni harus berkekuatan ….
   a. -0,33 dioptri
   b. 0,33 dioptri
   c. 1,33 dioptri
   d. 2 dioptri
   e. 3,33 dioptri
2. Jarak titik api objektif dan okuler suatu mikroskop adalah 1,5 cm dan 5 cm. Suatu benda yang diamati terletak 5/3 cm di bawah lensa objektif. Mata normal yang memiliki titik dekat 25 cm mengamati mikroskop dan berakomodasi pada jarak 45 cm. Perbesaran mikroskop adalah ….
   a. 10 kali
   b. 20 kali
   c. 30 kali
   d. 40 kali
   e. 50 kali
3. Jarak titik api objektif dan okuler sebuah mikroskop berturut-turut adalah 1,8 cm dan 6 cm. Wawan mengamati mikroorganisme menggunakan mikroskop ini dengan tidak berakomodasi. Jika jarak antara objektif dan okuler 24 cm, maka jarak mikroorganisme dengan lensa objektif adalah ….
   a. 1 cm
   b. 2 cm
   c. 3 cm
   d. 4 cm
   e. 5 cm
4. Sebuah lensa cembung dobel (*double convex*) tipis mempunyai jari-jari kelengkungan sebesar 40 cm dan dibuat dari kaca (n = 1,65). Panjang fokus lensa tersebut adalah ….
   a. 20 cm
   b. 25 cm
   c. 26 cm
   d. 31 cm
   e. 36 cm

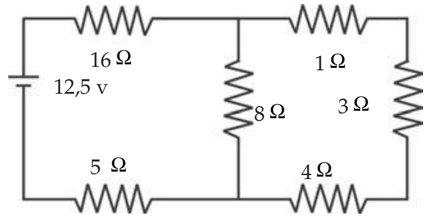
5. Pada penggunaan lup dalam waktu yang lama, sebaiknya benda diletakkan di ….
   a. di belakang lensa
   b. di titik apinya
   c. pada jarak baca normal
   d. di antara jarak baca dan titik apinya
   e. di antara titik api dan lensa
6. Sebatang lilin setinggi 5 cm ditempatkan di depan cermin cekung sejauh 20 cm. Jika jarak fokus lensa tersebut sebesar 15 cm, maka ukuran bayangan lilin adalah ….
   a. 11 cm
   b. 12 cm
   c. 13 cm
   d. 14 cm
   e. 15 cm
7. Jika api kompor diperbesar pada saat air yang ditumpangkan di atasnya sedang mendidih, maka ….
   a. suhu air tetap
   b. kecepatan air mendidih bertambah
   c. suhu air bertambah
   d. kecepatan air mendidih tetap
   e. air terbakar
8. Panjang sebuah batang logam pada suhu 25° C adalah 100 cm. Jika koefisien muai panjang logam $1,33 \times 10^{-5}$ /° C, maka panjang batang pada suhu 100° C adalah ….
   a. 100 cm
   b. 100,1 cm
   c. 100,2 cm
   d. 100,3 cm
   e. 100,4 cm
9. Suatu gas memiliki volume 100 cm^3 pada temperatur 0° C dan tekanan 1 atm. Jika temperatur dinaikkan menjadi 50° C dan tekanan menjadi 2 atm, maka volume gas tersebut menjadi ….
   a. 45,5 cm^3
   b. 44,5 cm^3
   c. 35,5 cm^3
   d. 59,2 cm^3
   e. 38,4 cm^3
10. Kalor jenis es 0,5 kal/g °C, kalor lebur es 80 kal/g, dan kalor jenis air 1 kal/g °C. Setengah kilogram es bersuhu -20° C dicampur dengan sejumlah air yang bersuhu 20° C, sehingga mencapai keadaan akhir berupa air seluruhnya dan bersuhu 0° C. Massa air mula-mula adalah ….
    a. 1 kg
    b. 1,25 kg
    c. 2,25 kg
    d. 2,5 kg
    e. 3,25 kg

11. Sebatang besi bermassa 1 kg memiliki suhu 20° C. Suhu besi dinaikkan menjadi 30° C dengan sebuah pemanas listrik berdaya 1 kW. Jika efisiensi pemanas 100% dan waktu yang diperlukan 20 sekon, maka kapasitas kalor besi adalah ....
    a. 1.000 J/°C
    b. 1.200 J/°C
    c. 1.500 J/°C
    d. 1.800 J/°C
    e. 2.000 J/°C
12. Perhatikan gambar di samping! Bila *I* adalah kuat arus listrik yang melalui hambatan 8 ohm, maka besarnya kuat arus listrik yang melewati hambatan 5 ohm adalah ....



    a. I
    b. 2I
    c. 3I
    d. 4I
    e. 5I
13. Jika air 100 g dengan suhu 100° C dicampur dengan air 200 g yang suhunya 10 ° C, maka suhu akhir campuran tersebut adalah ....
    a. 70° C
    b. 67° C
    c. 55° C
    d. 45° C
    e. 40° C
14. Dua buah resistor sama besar terhubung secara seri dengan sebuah baterai, ternyata daya total yang terdisipasi sebesar 20 W. Jika kedua resistor tersebut dihubungkan secara pararel, maka besar daya total yang terdisipasi adalah ....
    a. 70 W
    b. 80 W
    c. 90 W
    d. 100 W
    e. 110 W
15. Sebuah kawat tembaga dipotong menjadi sepuluh bagian yang sama panjangnya. Kesepuluh kawat tembaga ini kemudian disambungkan secara pararel. Hambatan kombinasi pararel kesepuluh kawat tembaga tersebut jika dinyatakan dalam hambatan kawat tembaga yang belum dipotong tadi adalah ....
    a. 1/100 kalinya
    b. 1/10 kalinya
    c. 1 kalinya
    d. 10 kalinya
    e. 100 kalinya
16. Jika lampu pijar yang berukuran 60 W/220 V di pasang pada tegangan 110 V, maka daya lampu pijar tersebut adalah ....
    a. 60 W
    b. 45 W
    c. 45 W
    d. 50 W
    e. 80 W

17. Perhatikan gambar di samping! Beda potensial antara kedua ujung resistor 4 ohm adalah ....



a. 0,5 V
b. 1 V
c. 1,5 V
d. 2 V
e. 2,5 V

18. Sebuah tong besi (koefisien muai panjang besi 12×10^6 /° C) bervolume 70 liter diisi minyak sampai penuh (koefisien muai volume minyak 950×10^6/° C) dan diletakkan di halaman rumah pada saat pagi hari dengan suhu 20° C. Pada siang hari suhu naik menjadi 40° C, sehingga minyak memuai. Banyaknya minyak yang tumpah adalah ....

a. 1,28 liter
b. 1 liter
c. 1,5 liter
d. 0,5 liter
e. 0,28 liter

19. Hambatan jenis kawat penghantar bergantung pada ...

a. luas penampang kawat
b. beda potensial kawat
c. hambatan kawat
d. panjang kawat
e. jenis kawat

20. Sebuah bola lampu berukuran 90 W/30 V. Jika hendak dipasang pada sumber tegangan 120 V dengan daya tetap, maka lampu tersebut harus dirangkai seri dengan hambatan sebesar ....

a. 10 ohm
b. 20 ohm
c. 30 ohm
d. 40 ohm
e. 50 ohm

21. Sebuah keluarga menyewa listrik PLN sebear 500 W denga tegangan 110 V. Jika untuk penerangan keluarga tersebut menggunakan lampu berukuran 100 W/220 V, maka jumlah maksimum lampu yang bisa dipasang adalah ....

a. 10 buah
b. 20 buah
c. 30 buah
d. 40 buah
e. 50 buah

22. Mata manusia peka terhadap cahaya tampak yang memiliki panjang gelombang antara ....

a. 400 nm – 800 nm
b. 600 nm – 900 nm
c. 200 nm – 300 nm
d. 300 nm – 400 nm
e. 100 nm – 200 nm

23. Satuan daya listrik dapat dinyatakan dalam ....

a. $A^2 \Omega$
b. $\frac{Nm}{V}$
c. AC^{-1}
d. VA
e. VC

24. Untuk memotret keadaan tulang dalam tubuh digunakan ....
    a. sinar tampak
    b. sinar gamma
    c. sinar-X
    d. ultraviolet
    e. inframerah
25. Sebuah kawat penghantar yang dihubungkan dengan baterai 6 V mengalirkan arus 0,5 A. Jika kawat dipotong menjadi dua bagian sama panjang dan dihubungkan pararel satu sama lain ke baterai, maka kuat arus yang mengalir sekaranga adalah ....
    a. 12 A
    b. 6 A
    c. 2 A
    d. 0,5 A
    e. 0,25 A
26. Keunggulan gelombang radio FM dari gelombang radio AM adalah ....
    a. jangkauan lebih jauh
    b. dipantulkan ionosfer
    c. merupakan gelombang longitudinal
    d. sebagai pembawa informasi
    e. gelombangnya diterima lebih jernih
27. Sebuah aki mempunyai ggl 12 V dan hambatan dalam 0,1 ohm. Jika aki diisi dengan arus 20A, maka tegangan antara kedua terminalnya adalah ....
    a. 10 V
    b. 11 V
    c. 12 V
    d. 13 V
    e. 14 V
28. Sebuah pesawat tempur memancarkan pulsa gelombang radar, 4 sekon kemudian gelombang pantul diterima. Hal ini menunjukkan terdapat benda dari pesawat sejauh ....
    a. 12×10^8 m
    b. 12×10^5 m
    c. 6×10^5 m
    d. 6×10^8 m
    e. $7{,}5 \times 10^8$ m
29. Sebuah pemancar stasiun TV bekerja pada frekuensi 1,5 MHz. Jika cepat rambat gelombang elektromagnetik di ruang hampa sebesar 3×10^8 m/s, maka panjang gelombang TV tersebut adalah ....
    a. $4{,}5 \times 10^8$ m
    b. 2×10^5 m
    c. $1{,}5 \times 10^2$ m
    d. 2×10^2 m
    e. $2{,}5 \times 10^2$ m
30. Foto-foto sinar-X yang digunakan para dokter gigi umumnya diambil pada saat mesin sinar-X beroperasi dengan elektron dipercepat pada tegangan sekitar ....
    a. 250 nm
    b. 25 nm
    c. 2,5 nm
    d. 0,25 nm
    e. 0,025 nm

B. Jawablah soal-soal berikut dengan benar!

1. Sebuah miskroskop mempunyai panjang tabung 21,4 cm, fokus objektif 4 mm, dan fokus okuler 5 cm. Untuk mendapatkan bayangan yang jelas dengan mata tak berakomodasi, maka tentukan jarak benda dengan lensa objektif!
2. Sebuah pesawat pengintai yang dilengkapi radar mendeteksi musuh yang terbang mendekatinya. Jika waktu yang diperlukan gelombang radar pada saat dipancarkan sampai diterima kembali adalah 5×10^{-5} sekon, maka tentukan jarak pesawat musuh tersebut!
3. Robert memiliki titik dekat 50 cm di depan lensa matanya. Agar dapat membaca pada jarak normal (25 cm), maka tentukan kekuatan kacamata yang harus dipakai Robert?
4. Sebuah lempeng berbentuk persegi panjang memiliki panjang 15 cm dan lebar 28 cm terbuat dari aluminium. Jika suhu lempeng tersebut dinaikkan sebesar 100° C, maka tentukan luas lempeng tersebut! (koefisien muai panjang aluminium = $2,4 \times 10^{-5}$/°C)
5. Sebuah lampu mercuri memancarkan gelombang elektromagnetik dengan laju energi rata-rata tiap satuan luas sebesar $\frac{24}{\pi} \times 10^5$ watt/m^2. Tentukan besarnya medan magnetik maksimum lampu tersebut!
6. Sebongkah es yang bersuhu -10° C dipanasi hingga tepa menjadi uap pada titik didihnya (100° C). Jika massa es 30 g, maka tentukan jumlah kalor yang diperlukan! (kalor jeis es = 0,5 kal/g °C, kalor lebur es = 80 kal/g, titik lebur es = 0° C, dan kalor uap air = 540 kal/g)
7. Sebutkan perbedaan gelombang elektromagnetik dan gelombang mekanik!
8. Sebuah kompor listrik yang dayanya 500 W dan daya gunanya 40% digunakan untuk memanaskan I liter air yang suhu awalnya 20° C. Jika kalor jenis air adalah 4 J/g °C, maka tentukan suhu air setelah 15 menit!
9. Di sebuah pabrik digunakan sinar laser untuk membuat lubang pada kepingan logam. Intensitas rata-rata sinar adalah $1,23 \times 10^9$ J/m^{2}s. Tentukan nilai maksimum medan listrik dan medan magnetiknya!
10. Sebuah galvanometer yang hambatannya 50 ohm akan mengalami simpangan maksimum jika dilalui arus 0,01 A. Agar dapat digunakan untuk mengukur tegangan hingga 100 V, maka tentukan hambatan muka yang harus dipasang pada galvanometer tersebut!

Kunci Jawaban

Bab I

A. Pilihan Ganda

2. d
4. c
6. c
8. a
10. b
12. c
14. a

B. Essay

2. Kebijakan guru
4. 50 N

Bab II

A. Pilihan Ganda

2. b
4. c
6. b
8. e
10. e

B. Essay

2. 193 m
4. 50 km

Bab III

A. Pilihan Ganda

2. b
4. a
6. b
8. c
10. c

B. Essay

2. 25,08 ms^{-2}
4. 0,0027 ms^{-2}

Bab IV

A. Pilihan Ganda

2. b
4. e
6. a
8. e
10. e

B. Essay

2. 4720 N
4. 6.600 N

Pelatihan Semester Gasal

A. Pilihan Ganda

2. b
4. a
6. a
8. d
10. c
12. b
14. b
16. e
18. c
20. c
22. d
24. a
26. e
28. c
30. d

B. Essay

2. 1,6 m/s^2 dan 0,8 m/s^2
4. (a) 24 m/s (b)8832 m
6. 332 m dan 104,4 km/jam
8. $7{,}6 \times 10^3$ m/s dan 8,4 m/s^2
10. 25°

Bab V

A. Pilihan Ganda

2. a
4. c
6. b
8. c
10. d

B. Essay

2. 167,67 kali dan 166, 67 kali167,67 kali dan 166, 67 kali
4. 5 kali

Bab VI

A. Pilihan Ganda

2. c
4. d
6. b
8. b
10. b

B. Essay

2. $k = 2 \times 10^{-4}$ kal/cms°C
4. 230,73 J/s

Bab VII

A. Pilihan Ganda

2. a
4. b
6. b
8. d

B. Essay

4. a. 4,05 kWh dan b. Rp.405,00

Bab VIII

A. Pilihan Ganda

2. b
4. c
6. e
8. c
10. b

B. Essay

2. 150 m
4. $3{,}3 \times 10^{-5}$ sekon

Pelatihan Semester Genap

A. Pilihan Ganda

2. e
4. d
6. e
8. b
10. c
12. c
14. b
16. b
18. a
20. c
22. a
24. c
26. e
28. d
30. e

B. Essay

2. 7,5 km
4. 422,016 cm^2
6. 21750 kal
8. 65° C
10. 9950 ohm

Daftar Pustaka

Ardley, Neil. 1996. *Cara Bekerjanya: Panas*. Semarang: Mandira Jaya Abadi.

Arnold, Guy. 1993. *Energi Nuklir* (Terjemahan). Semarang: Mandira Jaya Abadi.

Bender, Lionel. 2000. *Bagaimana Cara Kerjanya: Teleskop* (Terjemahan). Semarang: Mandira Jaya Abadi.

Beiser, Arthur. 1999. *Konsep Fisika Modern* (terjemah). Jakarta: Erlangga.

Birsyam, M. 1992. *Hukum-Hukum Kekekalan dalam Mekanika*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

Blaatt, Frank J. 1992. *Modern Physics*. McGraw-Hill, Inc.

Bridgman, Roger. 2000. *Jendela Iptek: Teknologi*. Jakarta: Balai Pustaka.

Challoner, Jack. 2000. *Jendela Iptek: Energi*. Jakarta: Balai Pustaka.

Foster, Bob. 2006. *1001 Soal dan Pembahasan Fisika*. Jakarta: Erlangga.

Giancoli. 2001. *Fisika jilid 1,2* (terjemahan). Jakarta: Erlangga.

Gonick, Larry and Art Huffman. 2002. *Kartun Fisika* (Terjemahan). Jakarta: Gramedia.

Graham, Ian. 1995. *Alam Semesta* (Terjemahan). Jakarta: Quality Press.

———. 2000. *Kamera* (Terjemahan). Jakarta: Tunggal Kharisma.

John Gribbin, dan Mary. 2000. *Jendela Iptek: Ruang dan Waktu*. Jakarta: Balai Pustaka.

Halliday & Resnick. 1991. *Fisika 1,2* (Terjemahan). Jakarta: Erlangga.

Hudson Tiner, John. 2005. *100 Ilmuwan* (Terjemah). Batam: karisma Publishing group.

Isaac, Alan (editor). 1990. *Kamus Lengkap Fisika* (Terjemah). Jakarta: Erlangga

Kane dan Sternheim. 1991. *Fisika* (Terjemah). Bandung: AIDAB

Kawanku. Edisi November, 1990.*Kawanku*. Edisi November, 1990.

Ketut, Lasmi. 2004. *Bimbingan Pemantapan Fisika*. Bandung: Yrama Widya.

Lafferty, Peter. 2000. *Jendela Iptek: Gaya dan Gerak*. Jakarta: Balai Pustaka.

———-. Tanpa Tahun. *Magnet sampai Dinamo* (Terjemahan). Semarang: Mandira Jaya Abadi.

———. Tanpa Tahun. *Pembakaran dan Peleburan* (Terjemahan). Semarang: Mandira Jaya Abadi.

Mahayana, Dimitri dan Sugema, Sony. 2006. *IPA Terpadu*. Bandung: Pustaka.

Orbit. Edisi Agustus, 2001.*Orbit*. Edisi Agustus, 2001.

———. Edisi September, 2001.
———. Edisi Agustus, 2002.
———. Edisi September, 2002.
Robson, Pam. 1995. *Listrik* (Terjemahan). Jakarta: Kesaint Blanc Indah Corp.
Sauvain, Philip. 1996. *Cara Bekerjanya: Gerakan*. Semarang: Mandira Jaya Abadi.
———. 1998. *Cara Bekerjanya: Udara*. Semarang: Mandira Jaya Abadi.
Setyadi, D. 2001. *Aneka Percobaan Suara*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
Suara Merdeka. edisi 4 April 2004. *Suara Merdeka*. edisi 4 April 2004.
———. Edisi 2 dan 9 Mei 2004.
———. Edisi 29 Agustus 2004.
———. Edisi 28 November 2004.
———. Edisi 2 dan 9 Januari 2005.
———. Edisi 27 Februari 2005.
———. Edisi 10 April 2005.
———. Edisi 1 Mei 2005.
Surya, Yohanes. 1999. *Olimpiade Fisika 1,2,3*. Jakarta: Primatika Cipta Ilmu.
———-. 2003. *Fisika itu Asyik*. Jakarta: Bina Sumber Daya MIPA.
———. 2004. *Fisika itu Asyik* (Edisi Revisi). Jakarta: Bina Sumber Daya MIPA.
———. 2004. *Fisika itu Asyik* (Edisi Revisi). Jakarta: Bina Sumber Daya MIPA.
———. 2004. *Fisika untuk Semua*. Jakarta: Bina Sumber Daya MIPA.
Suryaningrat, Widodo. 2006. *Bank Soal Fisika Untuk SMA*. Bandung: M2S.
Sutrisno, Eddy. Tanpa Tahun. *Buku Pintar Penemu*. Jakarta: Taramedia dan Restu Agung.
Walpole, Brenda. 2002. *Jarak* (Terjemahan). Semarang: Manunggal Kharisma.
———. 2002. *Temperatur* (Terjemahan). Semarang: Manunggal Kharisma.
———. 2002. *Ukuran* (Terjemahan). Semarang: Manunggal Kharisma.
———. 2002. *Waktu* (Terjemahan). Semarang: Manunggal Kharisma.
Ward, Alan. 2004. *Air dan Mengapung*. Batam: Quality Press.
———. 2004. *Cahaya dan Warna* (Terjemahan). Batam: Quality Press.
———. 2004. *Gaya dan Energi* (Terjemahan). Batam: Quality Press.
———. 2004. *Gaya Magnet dan Tenaga Listrik* (Terjemahan). Batam: Quality Press.
———. 2004. *Suara dan Musik* (Terjemahan). Batam: Quality Press.
Zemansky, Sears. 1985. *Fisika untuk Universitas* 1 (Saduran bebas). Jakarta: Binacipta.
———. *Fisika untuk Universitas* 2 (Saduran bebas). Jakarta: Binacipta.
———. *Fisika untuk Universitas* 3 (Saduran bebas). Jakarta: Binacipta.

Daftar Gambar

Daftar Tabel

Glosarium

aluminium	:	logam ringan yang tahan panas dan tahan karat
ammeter	:	alat untuk mengukur arus listrik
ampere	:	satuan SI untuk kuat arus listrik
amplifier	:	suatu piranti untuk meningkatkan kekuatan sinyal listrik dengan mengambil energi dari sumber yang berbeda dengan sumber sinyal
analisis	:	penyelidikan terhadap suatu peristiwa untuk mengetahui keadaan yang sebenarnya
arus listrik	:	gerak elektron dari satu kutub sumber listrik
baja	:	logam keras yang diperoleh dari pengolahan besi, karbon, dan logam-logam lain berdasarkan keperluan
baterai	:	alat penghimpun dan pembangkit listrik
baut	:	besi batangan yang berulir
beda potensial	:	selisih tegangan listrik antara dua titik yang ditinjau
depa	:	ukuran kedua belah tangan mendepang dari ujung jari tengah tangan kiri sampai ujung jari tengah tangan kanan
ekuivalen	:	memiliki nilai yang sama
elektronis	:	alat yang dibuat berdasarkan prinsip-prinsip elektronika
embun	:	titik-titik air
energi listrik	:	bentuk energi yang berhubungan dengan suatu muatan listrik
filamen	:	benda yang berbentuk benang tipis
garis gaya listrik	:	garis khayal (imaginer) dalam medan listrik yang garis singgung pada setiap titiknya menunjukkan arah medan listrik
garis horisontal	:	garis mendatar (sejajar dengan horizon)
gas argon	:	gas mulia yang terdapat di atmosfer tidak berwarna dan tidak berbau, biasa digunakan untuk mengisi bola lampu listrik
gas	:	zat ringan yang sifatnya seperti udara
gelas ukur	:	gelas yang digunakan untuk mengukur

gelombang elektromagnetik : energi yang dipancarkan oleh getaran listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus satu sama lain juga tegak lurus terhadap arah rambatan gelombang dan tidak memerlukan medium dalam perambatannya dan dapat merambat dalam vakum

generator : mesin yang mengubah energi mekanis menjadi tenaga listrik

gerak : perubahan letak suatu benda atau sistem terhadap waktu

gesekan : gaya yang terjadi ketika dua permukaan saling menggosok

grafik : lukisan pasang surut suatu keadaan dengan garis atau gambar

hasta : ukuran sepanjang lengan bawah (dari siku sampai ujung jari tengah)

indra peraba : alat untuk meraba

jengkal : ukuran sepanjang rentangan antara ujung ibu jari dan jari kelingking

kabel : kawat penghantar arus listrik terbungkus dengan karet, plastik atau kertas

kapasitas : daya tampung

karbon : unsur nonlogam yang termasuk golongan IV tabel berkala

kawat email : kawat yang dibalut kaca tetapi tidak bening

kawat nikrom : nama lain dari aloi kromium yang digunakan untuk kawat pemanas

kondensasi : keadaan suatu gas yang mengalami pendinginan dan berubah menjadi cair

lampu neon : lampu listrik yang berbentuk tabung yang berisi gas

lampu pijar : lampu yang memancarkan cahayanya dari kawat yang berpijar di bola lampu

lift : alat penangkat yang dapat digerakan dengan listrik yang dapat turun naik

logam : mineral yang tidak tembus pandang, dapat mejadi penghantar panas dan arus listrik

magnet : setiap bahan yang dapat menarik logam besi

material : bahan yang dipakai untuk membuat bahan lain

mendidih : menggelembung-menggelembung atau meluap-luap karena dipanaskan

mengapung : mengambang di permukaan air (tidak tenggelam)

mika : mineral yang menyerupai kaca yang kompleks, digunakan untuk isolasi listrik

mikrometer : alat yang digunakan untuk mengukur jarak yang sangat kecil, biasanya digunakan bersama-sama dengan teleskop atau mikroskop

muatan listrik : sifat-sifat dasar pada partikel-partikel elementer dari materi ada dua macam muatan, yaitu muatan positif dan negatif, muatan yang sama akan tolak-menolak, sedangkan muatan yang berbeda akan tarik menarik

nitrogen : gas tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa dan tidak beracun unsur dengan nomor atom 7, dengan lambang N

orbit : jalan yang dilalui oleh benda di langit dalam peredarannya mengelilingi benda langit lain yang lebih besar gaya grafitasinya

parafin : campuran hidrokarbon, digunakan untuk membuat lilin penerang, dan sebagai bahan pelapis kedap air

paralaks : pergeseran semu suatu benda di kejauhan (terhadap benda lain) di latar belakang yang lebih jauh) bila dilihat dari dua letak yang berbeda

partikel : unsur terkecil yang berdimensi

penampang : permukaan yang rata

penghantar listrik : zat yang dapat menghantarkan listrik

polistiren : polimer sintetis yang satuan pembentuknya adalah gugus eter

pompa listrik : alat/mesin yang berfungsi memindahkan/menaikan dengan cara menghisap/memancarkan cairan atau gas

potongan grafit : barang tambang yang wujudnya seperti arang batu (untuk pensil)

proses titrasi : penentuan kadar suatu zat dalam larutan/campuran dengan menambahkan penguji yang dapat bereaksi dengan zat

radar (*Radio Detecting And Ranging*) : suatu alat untuk menentukan lokasi suatu benda yang letaknya sangat jauh dengan menggunakan gelombang radio

raksa : zat air yang warnanya seperti timah

rangkaian pararel : rangkaian dengan elemen-elemen yang terhubung sedemikian rupa sehingga terjadi pembagian arus di antara elemen-elemen tersebut

riset : penyelidikan suatu masalah secara bersistem, kritis, dan ilmiah untuk menigkatkan pengetahuan

roket : peluru berbentuk silinder yang digerakkan dengan reaksi motor dan dapat bekerja di luar atmosfer

step up : menaikkan tegangan arus bolak-balik

silikon : gas tanpa warna yang tidak larut dalam air (cairan)

spidometer : alat untuk mengukur kelajuan

spiritus : zat cair yang mengandung alkohol, mudah menguap dan terbakar

step down : menurunkan tegangan arus bolak-balik

stopkontak : kotak kontak

sudut bias : sudut antara sinar yang dibiaskan suatu permukaan antara dua medium yang berbeda dengan garis tegak lurus (normal) permukaan pada titik pembiasan

sudut datang : sudut antara sinar datang pada suatu permukaan dengan garis tegak lurus (normal) permukaan pada titik jatuh sinar datang di atas permukaan

sudut pantul : sudut antara yang meninggalkan suatu permukaan pantul dengangaris tegak lurus (normal) permukaan pada titik tempat sinar keluar dari permukaan

suhu : ukuran kuantitatif pada temperatur panas atau dingin

superfluida : gejala yang diperlihatkan fluida pada suhu yang sangat rendah

tabel : daftar berisi ikhtisar sejumlah data informasi yang biasanya berupa kata-kata atau bilangan

tegangan tinggi : selisih potensial tinggi, umumnya beberapa ratus volt atau lebih

tegangan : gaya gerak listrik atau beda potensial listrik yang diukur dalam volt (V)

teknologi : kemampuan teknik yang berlandaskan ilmu eksata yang berdasarka proses teknis

telegraf : pesawat untuk mengirim berita cepat ke tempat yang jauh (dengan kawat dan kekuatan listrik)

telegraf : alat untuk mengirimkan pesan yang berupa tulisan dari jarak jauh

tembaga : logam berwarna kemerah-merahan

timbal sulfat : padatan kristal putih $PbSO_4$ yang tidak larut dalam air, tetapi larut dalam larutan garam amonium

titik acuan : titik referensi

trafo : alat untuk mengubah tegangan sumber arus bolak-balik yang mempunyai kumparan primer yang dihubungkan dengan input dan kumparan sekunder yang dihubungkan dengan output

uap air : air dalam wujud gas

uap raksa : gas yang terjadi dari cairan raksa yang dipanasakan

udara : benda gas yang terdiri atas beberapa bagian seperti oksigen dan karbondioksida

ultrasonik : suara berfrekuensi di atas 20 kHz, dalam penggunaannya ultrasonik hampir sama dengan sinar-X, yaitu untuk keperluan diagnosis dan untuk menguji kerusakan pada logam

vertikal : tegak lurus dari bawah ke atas atau kebalikkannya

Indeks Subjek dan Pengarang

Lampiran

Alfabet Yunani

Nama	Huruf Besar	Huruf Kecil	Nama	Huruf Besar	Huruf Kecil
Alpha	A		Nu		
Beta			Xi		
Gamma			Omcron		
Delta			Pi		
Epsilon			Rho		
Zeta			Sigma		
Eta			Tau		
Theta			Upsilon		
Iota			Phi		
Kappa			Chi		
Lambda			Psi		
Mu			Omega		

Bilangan-Bilangan Konstanta

Nama Besaran	Simbol	Harga
Kecepatan cahaya dalam vakum	c	2,9979 10^{8} ms^{-1}
Muatan elektron	q_e	–1,602 10^{-19} C = –4,803 10^{-10} stC
Massa diam elektron	m_e	9,108 10^{-31} kg
Perbandingan muatan elektron terhadap massanya	q_e/m_e	1,759 10^{11} C kg^{-1} = 5,273 1017 stC g^{-1}
Konstanta Planck	h	6,625 10^{-34} Js
Konstanta Boltzmann	k	1,380 10^{-23} JK^{-1}
Bilangan Avogadro (skala kimia)	N_o	6,023 10^{23} molekul mol^{-1}
Konstanta universal gas (skala kimia)	R	8,314 J mol–1 K^{-1}
Kesetaraan mekanikal dari panas	y	4,185 10^{3} J kal –1
Standar tekanan atmosfir	*1 atm*	1,013 10^{5} N m^{-2}
Volume gas sempurna pada 0° C dan 1 atm (skala kimia)	–	22,415 lliter mol^{-1}
Suhu nol mutlak	0 *K*	–273,16° C
Percepatan akibat gaya berat (pada muka laut di khatulistiwa)	g	9,78049 ms^{-2}
Konstanta universal gravitasi	G	6,673 10^{-11} Nm^{2} kg^{-2}
Massa bumi	m_E	5,975 10^{24} kg
Radius bumi rata-rata	–	6,371 10^{6}m = 3.959 mil
Radius khatulistiwa bumi	–	6,378 10^{6} m = 3.963 mil
Jarak rata-rata dari bumi ke matahari	1 AU	1,49 10^{11} m = 9,29 10^{7} mil
Eksentrik orbit bumi	–	0,0167
Jarak pukul-rata dari bumi ke bulan	–	3,84 10^{8} = 60 radius bumi
Diameter matahari	–	1,39 10^{9} = 8,64 10^{5} mil
Massa matahari	m_S	1,99 10^{30} kg = 333.000 massa bumi
Konstanta hukum Coulomb	C	8,98 10^{9} $Nm^{2}C^{-2}$
Konstanta Faraday (1 faraday)	F	96.500 C mol^{-1}
Massa atom hidrogen netral	m_H^{1}	1,008142 amu
Massa proton	m_p	1,007593 amu
Massa neutron	m_n	1,008982 amu
Massa elektron	m_e	5,488 10^{-4} amu
Perbandingan massa proton terhadap massa elektron	m_p/m_e	1836,12
Konstanta Rydberg untuk inti partikel yang kecil sekali		109.737 cm^{-1}
Konstanta Rydberg untuk hidrogen	R_H	109.678 cm^{-1}
Konstanta hukum pergeseran Wien	–	0,2898 cmK^{-1}
Konstanta bilangan	–	=3,142; e = 2,718; = 1,414



FISIKA 1

Untuk SMA/MA Kelas X

Makin Anda mengenal alam, makin sayang Anda kepadanya. Fisika merupakan salah satu pintu mengungkap rahasia alam semesta yang menyembunyikan berjuta keajaiban. Buku ini mencoba mengungkap alam semesta dengan bahasa fisika yang sederhana, mudah dipahami, dan enak untuk dibaca.

Materi dalam buku ini disajikan secara sistematis, dilengkapi dengan contoh soal, gambar ilustrasi, dan diakhiri dengan peta konsep yang memudahkan Anda untuk memahami materi secara keseluruhan. Soal kompetensi dalam buku ini merupakan barometer tingkat pemahaman Anda terhadap materi yang telah dipelajari. Untuk memacu kreativitas dalam bereksperimen, mengasah kemampuan menulis, dan menyampaikan pendapat, buku ini menyediakan kolom kegiatan, diskusi, dan ilmuwan yang disusun sesuai materi, pemahaman, dan tingkat perkembangan Anda.

Untuk memudahkan dalam memahami isi buku, disediakan kata kunci, rangkuman, indeks, dan glosarium. Penyegaran ingatan dan penambahan khazanah keilmuwan di sajikan buku ini melalui kolom tokoh dan info kita. Anda bisa memahami perjuangan tokoh sains sepanjang sejarah dan mengetahui betapa banyak keasyikan serta manfaat fisika dalam kehidupan manusia yang dapat membuat Anda bangga mempelajari fisika.

ISBN 978-979-068-166-8 (no jld lengkap)
ISBN 978-979-068-168-2

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007 Tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran Yang Memenuhi Syarat Kelayakan Untuk Digunakan Dalam Proses Pembelajaran.

Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp13.891,-